

DICTIONNAIRE
THÉORIQUE ET PRATIQUE
D'ÉLECTRICITÉ
ET
DE MAGNÉTISME

PAR

M. GEORGES DUMONT

ÉLECTRICIEN

Ingénieur des Arts et Manufactures

Professeur de technologie industrielle à l'École des Hautes Études commerciales

Avec la collaboration de M. M.

MAURICE LEBLANC

Ancien élève de l'École polytechnique

E. DE LA BÉDOYÈRE

Ingénieur électricien

INTRODUCTION PAR

M. HIPPOLYTE FONTAINE

Président honoraire de la Chambre syndicale des Industries électriques

—
1 260 GRAVURES
—

PARIS

V° P. LAROUSSE ET C^{ie}, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

RUE MONTPARNASSE, 15, 17, 19

Succursale : Rue des Écoles, 58 (Sorbonne)

—
Droits de traduction et de reproduction réservés



INTRODUCTION

Les auteurs du *Dictionnaire théorique et pratique d'Électricité et de Magnétisme* m'ont fait l'honneur de me demander quelques lignes d'introduction pour leur ouvrage. Je me rends à leur désir, d'autant plus volontiers, qu'ayant suivi, fascicule par fascicule, au fur et à mesure de sa publication, leur remarquable travail, j'ai pu en apprécier, sinon tout le mérite, du moins l'incontestable utilité.

Je viens de le parcourir de nouveau, mais cette fois sans interruption, en une seule séance, et j'ai été vivement frappé par la quantité prodigieuse d'excellents matériaux qui s'y trouvent condensés.

Ce n'était pas une tâche facile que de rechercher tous ces documents, de les examiner avec soin, de les classer méthodiquement, de coordonner entre elles les notes sur le même mot, de faire des études complètes sur une foule de sujets, d'éliminer toutes répétitions pouvant fatiguer le lecteur, et surtout de donner à l'ensemble de l'œuvre l'homogénéité de vue et d'appréciation qu'on rencontre si rarement dans les ouvrages de même nature.

Les auteurs ne se sont pas dissimulé les difficultés de l'entreprise; mais ils sont tous les trois jeunes, pleins d'ardeur et très initiés dans la science qu'ils voulaient vulgariser. Ils se sont donc mis au travail avec un courage exemplaire et, en moins de deux ans, ils sont parvenus à terminer les 2 000 colonnes dont se compose leur dictionnaire.

Quand je dis *dictionnaire*, c'est pour conserver leur dénomination, car, à mon avis, dans ce travail de patientes recherches, de savantes compilations et d'études approfondies, ils ont un peu dépassé le but. Au lieu d'un dictionnaire donnant des explications sommaires sur tous les mots employés par les théoriciens et les praticiens, ils ont, malgré quelques lacunes impossibles à éviter dans une première édition, fait une véritable encyclopédie, illustrée de nombreuses gravures, de cette science si complexe et si attrayante qu'on nomme la *science électrique*.

J'ai dit tout à l'heure que le travail de MM. Georges Dumont, Leblanc et de La Bédoyère était d'une grande utilité; il suffirait de parcourir leur Avant-propos pour se convaincre du fait. J'y veux cependant ajouter quelques réflexions et indiquer, à grands traits, l'importance exceptionnelle qu'ont prise récemment les industries électriques.

Dans cet Avant-propos se trouvent résumés les progrès réalisés dans la science, depuis les observations de Gilbert sur les propriétés de l'ambre jaune

INTRODUCTION.

en l'an 1600, les machines à globes de soufre inventées par Otto de Guericke en 1650, les travaux de Grey et Wehler sur la propagation du fluide électrique en 1727, jusqu'aux mémorables découvertes de Galvani, de Volta, d'Ersted, d'Ampère, de Davy, d'Arago et de Faraday, qui ont si glorieusement terminé le xviii^e siècle et salué l'aurore du xix^e.

L'ensemble de ces découvertes, au dire des auteurs, constituait une base théorique tout à fait complète, et, grâce à elle, rien n'empêchait plus à l'électricité de passer du domaine purement scientifique dans le domaine industriel. Ce qui retarda, pendant de longues années, l'utilisation pratique de l'électricité, ce fut la difficulté de produire régulièrement et économiquement des courants de grande intensité. Les applications électriques furent ainsi limitées, jusque vers 1870, aux signaux télégraphiques et aux dépôts métalliques. Cela ne veut pas dire que ces premières étapes industrielles aient été sans importance : la télégraphie terrestre, la télégraphie sous-marine et l'argenterie donnèrent, au contraire, presque immédiatement de très beaux résultats ; mais elles ne mirent en action que des courants relativement faibles et furent longtemps monopolisées entre les mains d'un très petit nombre de personnes.

Les choses en étaient là, quand survint un modeste ouvrier menuisier, M. Zénobe Gramme, qui combina et construisit de ses propres mains une machine rustique, laquelle, sous un volume des plus restreints, produisait des courants continus très puissants et très réguliers. C'est cette machine qui donna à l'électricité ses grandes entrées dans la pratique courante et qui amena une véritable révolution dans une foule de spécialités : éclairage public et privé, transmissions de force, affinage et soudure des métaux, traction mécanique, etc.

Dans son rapport sur le prix Volta, M. Mascart, professeur au Collège de France et directeur du Bureau central de météorologie, constate le même fait, presque dans les mêmes termes : « La découverte de Volta, dit-il, était restée dans les laboratoires. Les applications industrielles en étaient très limitées, malgré tant d'efforts et toutes les espérances qu'avait fait naître la découverte de Faraday. Depuis les travaux de M. Gramme, l'électricité a sa place dans l'industrie à côté de la vapeur, et son rôle grandit tous les jours. »

Qu'il me soit permis d'apporter une preuve manifeste à l'appui de ces deux assertions. Alors qu'il en est encore temps, il est bon d'établir et de préciser ce point de l'histoire des sciences appliquées.

En 1876, à l'Exposition universelle de Philadelphie, je représentais M. Gramme, dont je m'honore d'être l'ami, et j'exposais dans la galerie des Machines : 1^o une dynamo à lumière du *type normal* alimentant un régulateur Serrin et fonctionnant tous les jours avec une parfaite fixité et une grande régularité ; 2^o deux machines à lumière, plus puissantes, destinées aux projections lumineuses dans les places fortes et sur les navires de guerre ; 3^o une machine à galvanoplastie de 300 ampères ; et 4^o un transport de force motrice composé d'un petit moteur à vapeur, de deux dynamos (une génératrice et une réceptrice) et d'une pompe centrifuge.

Il n'existait alors pas d'autre éclairage électrique, pas d'autres transmissions électriques dans la galerie des Machines, ni dans les autres parties de l'Exposition, ni même dans tous les États-Unis.

Le gouvernement américain m'acheta tout mon matériel, et les futurs

INTRODUCTION.

inventeurs du nouveau monde purent étudier à loisir les dynamos Gramme, arrivées déjà à un haut degré de perfectionnement.

Douze ans après, en août 1888, il y avait aux États-Unis 5 351 installations d'éclairage électrique, exigeant une force motrice de 459 000 chevaux et alimentant 192 500 lampes à arc et 1 925 000 lampes à incandescence.

En supposant que les autres parties du monde possèdent ensemble autant d'installations d'éclairage électrique que les États-Unis (c'est bien près de la vérité), avant la fin de cette année il y aura une puissance motrice d'environ 1 million de chevaux-vapeur convertie en lumière électrique, ce qui, à raison de 20 becs Carcel, en moyenne, par cheval, correspond à 20 millions de becs Carcel; c'est-à-dire près de 200 millions de bougies normales!

Et tout cela, moins de dix-huit ans après l'exécution, par M. Gramme, de la première dynamo industrielle.

Les installations de transport de force, bien qu'en moins grand nombre, se comptaient, à la même époque, par milliers. Une seule usine des États-Unis, entièrement consacrée à la fabrication des moteurs électriques, occupait 1 500 ouvriers, une autre 800 ouvriers, une troisième 750, etc. Plus de 30 lignes de chemins de fer et de tramways, d'une longueur totale de 220 kilomètres, possédant 223 wagons et absorbant 4 180 chevaux, étaient mus par l'électricité dans le même pays. On y construit en ce moment 49 autres lignes, qui auront plus de 300 kilomètres de longueur totale et qui seront exploitées par 224 wagons électriques absorbant 5 550 chevaux.

Il serait injuste, après avoir montré ce que ces deux industries électriques doivent à M. Gramme, de ne pas reconnaître que leur immense développement aux États-Unis est, en grande partie, dû aux remarquables travaux d'une foule d'inventeurs de premier ordre, parmi lesquels je citerai MM. Edison, Brush, Thomson, Sprague, Maxim, Houston, Weston et Westinghouse. (Bien que celui-ci soit entré un des derniers dans la carrière électrique, il a, en moins de trois ans, installé 152 stations alimentant 153 000 lampes à incandescence avec des dynamos à courants alternatifs et des transformateurs Gaulard.)

Je serais tenté de dire que jamais une branche de l'activité humaine n'a eu un développement aussi rapide que l'éclairage électrique, si je ne me souvenais avoir vu le premier téléphone articulant à Philadelphie, puis à Boston, pendant mon séjour aux États-Unis, en 1876. Cet appareil, qui peut être considéré à juste titre comme l'une des plus admirables conceptions du génie humain, s'est propagé avec une vitesse extraordinaire dans tous les pays civilisés. On compte aujourd'hui plus de 1 050 réseaux téléphoniques desservant environ 350 000 abonnés; et, loin de se ralentir, le développement de ces réseaux croît chaque année dans une grande proportion.

L'électro-métallurgie a fait aussi de très grands progrès depuis quinze ans: l'affinage du cuivre, la fabrication des bronzes d'aluminium, le nickelage, le traitement des minerais, etc., empruntent maintenant au courant électrique l'un de leurs plus puissants moyens de production.

Les courants, qui n'atteignaient naguère encore que des intensités extrêmement faibles, difficiles à mesurer et à peu près les mêmes dans toutes les applications, sont obtenus et mesurés maintenant avec la plus grande facilité, depuis ceux des téléphones ayant moins d'un dix-millième d'ampère jus-

INTRODUCTION.

qu'à ceux des dynamos employés pour la métallurgie de l'aluminium, qui atteignent 10 000 ampères dans un seul circuit.

Pendant que ces nouvelles industries naissaient et se propageaient si vite, la télégraphie sous-marine et la télégraphie terrestre étaient loin de rester stationnaires. La longueur des câbles immergés en 1889 atteint près de 200 000 kilomètres, dont la valeur totale est estimée à un milliard de francs. Le dernier revenu de cet immense capital a été d'environ quatre-vingts millions. Le réseau total des lignes terrestres dépasse 700 000 kilomètres, et l'ensemble des services télégraphiques occupe près de 400 000 personnes.

L'esprit, émerveillé, se perd à travers tous ces chiffres fantastiques, surtout lorsqu'on songe que peu d'années nous séparent des découvertes immortelles d'Ampère et d'Arago.

Mais l'électricité n'a pas seulement donné naissance à une série d'industries, dont je n'ai cité qu'une très faible partie; elle a encore puissamment contribué au progrès d'un grand nombre d'anciennes industries. C'est ainsi qu'elle a amené la fabrication des pompes à vide à un degré de perfection inouï : on obtenait le vide, avant l'invention des lampes à incandescence, à une pression d'un dixième de millimètre de mercure; on l'obtient actuellement à une pression d'un cinq cent-millième de millimètre, ce qui correspond à la trois cent quatre-vingt-huitième partie d'un milliardième d'atmosphère.

La construction des machines à vapeur à grande vitesse s'est sensiblement améliorée, par suite des nombreuses demandes faites en vue d'installations électriques. On exécute maintenant d'excellentes machines de plusieurs centaines de chevaux marchant à 300 tours par minute, et des turbines à vapeur de 10 à 50 chevaux d'un fonctionnement très satisfaisant, tournant à la vitesse prodigieuse de 9 000 tours par minute.

Il n'est pas jusqu'à l'emploi du gaz qui ne se soit perfectionné sous l'aiguillon de la concurrence, et on a vu surgir coup sur coup un grand nombre de brûleurs intensifs consommant moitié moins de gaz par unité de lumière qu'autrefois.

L'importance capitale de la science et des industries électriques résulte si nettement de ce qui précède, qu'il est inutile d'insister et de parler des applications aux chemins de fer, à la médecine, au blanchiment, à la rectification des alcools, à l'analyse chimique, etc.

Je reviens au *Dictionnaire*, que ma course rapide à travers les grandes industries électriques m'avait un peu fait perdre de vue.

Il ne manque pas de traités théoriques, ni d'ouvrages spéciaux sur les diverses branches de l'électricité, mais il n'existait jusqu'à présent aucune publication d'ensemble, résumant les ouvrages scientifiques et technologiques et complétant les vides qu'ils laissent forcément entre eux dans le domaine général de l'électricité. M.M. Georges Dumont, Leblanc et de La Bédoyère en comblant cette lacune ont rendu un véritable service à tous les spécialistes et à toutes les personnes qui désirent se renseigner sur la théorie et les emplois multiples de l'électricité.

HIPPOLYTE FONTAINE.

Paris, 18 février 1889

LA SCIENCE ÉLECTRIQUE

SES PROGRÈS SUCCESSIFS

Les anciens possédaient encore moins de notions sur les phénomènes électriques que sur les autres branches de la Physique; ils avaient observé que l'ambre jaune attiré les corps légers : ils déclarèrent que l'ambre avait une âme; et, bien loin de chercher une explication plus rationnelle à un fait forcément stérile parce qu'il était isolé, ils ne se préoccupèrent même pas d'examiner si ce phénomène (déjà connu 600 ans avant notre ère) n'était pas commun à d'autres corps.

Ce n'est qu'en l'an 1600 de J.-C. que le médecin de la reine Elisabeth d'Angleterre, Gilbert, qui d'ailleurs prenait l'ambre jaune pour une variété d'aimant naturel, reconnut que de nombreuses substances, entre autres le verre, le soufre, la cire d'Espagne, la résine, acquièrent par le frottement la propriété d'attirer les corps légers, action qu'il attribuait à un agent particulier auquel on donna le nom d'*électricité*, du grec *ηλεκτρον* (*electron*, ambre jaune).

Peu après, Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, inventa la machine électrique à globe de soufre, et observa qu'un corps léger, attiré par une substance électrisée, est repoussé dès qu'il a touché cette substance. Mais la science de l'Électricité n'était encore que dans sa première enfance, et plus d'un siècle plus tard on aurait encore pu lui appliquer le mot prononcé depuis par Franklin au sujet des montgolfières : « A quoi sert l'enfant qui vient de naître? » En effet, on savait seulement diviser les corps en deux groupes : ceux qui, croyait-on, pouvaient être électrisés par le frottement et ceux qui ne le pouvaient pas. C'est seulement en 1727 que deux physiciens anglais, Grey et Wehler, dans une expérience demeurée célèbre, reconnurent que l'électricité se propage, se répand sur certains corps, ce qui la fit assimiler à un fluide, qui a été appelé *fluide électrique*. Cette idée de fluide a permis d'analyser des phénomènes importants, tels que les attractions et

répulsions étudiées par Coulomb, la distribution de l'électricité à la surface des corps, etc.

A la machine d'Otto de Guericke avait succédé, dès 1709, la machine à cylindre de verre, d'Hauksbee, physicien anglais, puis celle à plateau de verre. En 1746, Musschenbroek, suivant certains auteurs, Cunéus, selon d'autres, voulant électriser de l'eau avec cette machine, découvrit les condensateurs, qui furent d'abord nommés *bouteilles de Leyde*, et dont on n'a soupçonné les applications que longtemps après, mais dont la théorie fut immédiatement donnée par Franklin.

Comme on obtient des étincelles avec les machines électriques à frottement et les bouteilles de Leyde, les physiciens ne manquèrent pas d'assimiler les effets de la foudre à ceux de l'électricité. De nombreuses et importantes expériences furent faites pour arriver à la justification de cette hypothèse, notamment par Franklin en Amérique, Dalibard et de Romas en France vers 1752, et à Saint-Petersbourg, par Richmann, qui y perdit la vie. C'est de cette époque que date le paratonnerre.

La *Pierre d'aimant* ou aimant naturel portait chez les anciens Grecs le nom de *μαγνης* (*magnès*), d'où l'on a tiré le mot *magnétisme*. On dit que, dès l'an 121 de l'ère chrétienne, les Chinois savaient se diriger au moyen de l'aiguille aimantée : c'est grâce à son emploi que Christophe Colomb put faire ses grands voyages

Galvani, en étudiant à Bologne, vers l'an 1780, l'action de l'électricité sur les animaux, entame avec Volta, de Cosme, une longue et remarquable polémique, au cours de laquelle celui-ci trouve, en 1800, la *pile*, qui fournit un moyen commode de produire de l'électricité d'une manière continue. Ce fut le point de départ d'admirables découvertes multipliées de jour en jour, étendues sans cesse et peu à peu utilisées dans presque toutes les branches des sciences et de l'industrie. Le courant de la pile opère des décompositions chimiques (cette propriété a été appliquée d'abord par Jacobi, en Russie, à la galvanoplastie; ensuite par Ruolz en France et par Elkington, en Angleterre, à la dorure et à l'argenteure galvaniques); il produit de la lumière et de la chaleur (Davy a découvert l'arc voltaïque en 1813); il exerce sur les êtres organisés une action physiologique spéciale, etc., etc.

De ce que la foudre agit sur les aiguilles aimantées, Ørsted, professeur à Copenhague, déduisit avec sagacité que nécessairement le magnétisme et l'électricité ne devaient pas rester sans influence réciproque; après bien des tentatives infructueuses, il fut largement récompensé de sa persévérance, car il réussit à démontrer, en 1820, dans une expérience à jamais célèbre, qu'une aiguille aimantée tend à se mettre en croix avec tout courant situé dans son

voisinage. Cette découverte fit époque dans la science ; elle rapprocha deux branches de la Physique jusque-là séparées ; immédiatement généralisée par Ampère, peu après approfondie par Faraday, elle a permis la construction des *galvanomètres*, à l'aide desquels on mesure l'intensité des courants ; quant aux lois suivant lesquelles varie cette intensité, Ohm et Fechner, en 1827, puis Pouillet, parvinrent à les déterminer avec une telle exactitude, qu'elles n'ont jamais été trouvées en défaut depuis et qu'elles sont encore fondamentales dans l'étude de l'électricité et du magnétisme.

L'année même de l'expérience d'Ersted, Arago constata que l'électricité agit sur le fer doux et l'aimante momentanément, découverte qui a conduit à la construction des électro-aimants, et par conséquent des machines électromotrices de Page, Froment, etc., et du télégraphe électrique.

La découverte d'Ersted a encore eu d'autres résultats non moins importants. Ampère, en l'examinant sous toutes ses faces, étudia l'action des courants sur les courants en 1824, découvrit leurs attractions et répulsions réciproques, établit une série de formules élémentaires concernant ces phénomènes, et enfin, à la suite d'une admirable analyse, démontra qu'un solénoïde, c'est-à-dire un conducteur formé d'une hélice cylindrique, peut acquérir toutes les propriétés d'un aimant.

Une conséquence des plus importantes fut tirée de ces travaux par Faraday, qui, cherchant à obtenir de l'électricité au moyen des aimants, reconnut les phénomènes de l'induction, en 1832. Les lois de l'induction fournissent un moyen précieux de produire ou de transformer les courants : les machines dynamo et magnéto-électriques, telles que celles de Clarke et de Pixii, les machines modernes, la bobine de Ruhmkorff, etc., ne sont que des applications des lois de l'induction.

Enfin, les galvanomètres ayant permis de reconnaître la présence des courants de faible intensité, les courants thermo-électriques furent observés par Seebeck en 1823. Ceux-ci nous offrent le seul exemple connu jusqu'ici d'une transformation directe de la chaleur en électricité, et on n'en a certainement pas encore tiré tout le parti possible.

Les beaux travaux dont nous venons de donner un aperçu sommaire étaient demeurés purement théoriques pendant la première moitié du siècle ; mais ils étaient assez complets pour permettre aux applications industrielles de se développer rapidement. En effet, depuis une quarantaine d'années, la science ne s'est enrichie que d'un petit nombre de phénomènes nouveaux, tels que ceux relatifs à l'état *sensitif* de l'électricité, découverts par Spottiswoode, Warren de La Rue, etc., et ceux relatifs à la *matière radiante*, étudiés par William Crookes ; mais, en revanche, l'étude approfondie des faits déjà connus, leur théorie et leurs applications à l'industrie ont fait d'immenses progrès.

La principale préoccupation des savants fut de pouvoir mesurer ces divers phénomènes : en développant une ancienne idée de Gauss, qui avait remarqué que tout phénomène naturel se résume en une action mécanique indépendante de la *sensation* qu'il peut produire sur nous, on chercha à définir l'unité spéciale qui convenait à la mesure de chaque phénomène par le genre particulier d'effet mécanique qui constituait ce phénomène.

C'est ainsi que furent établis les systèmes de mesures absolues dans lesquels toutes les grandeurs électriques sont rattachées aux grandeurs mécaniques et aux notions fondamentales de longueur, temps et masse.

La détermination des unités mit en évidence un phénomène qui conduisit Maxwell à une conséquence des plus importantes au point de vue de la philosophie naturelle : l'action magnétique se propage dans l'espace avec le temps, et sa vitesse de propagation est la même que celle de la lumière.

Pendant ce temps, une nouvelle industrie, celle de la télégraphie sous-marine, exigeait chaque jour la solution de problèmes de plus en plus complexes, et sir William Thomson créait de remarquables instruments de mesure.

L'Angleterre paraissait avoir le monopole de l'électricité, lorsqu'en France M. Gramme, reprenant les idées de Pixii et de Clarke, inventa sa machine, qui fit définitivement passer l'électricité du domaine des laboratoires dans celui de l'industrie.

La machine Gramme, en effet, est un appareil rustique, pouvant soit engendrer un courant électrique lorsqu'on le fait tourner, soit tourner lorsqu'on le fait parcourir par un courant électrique ; ayant, comme transformateur d'énergie, un rendement extrêmement élevé ; capable enfin, sous un volume et un poids donnés, d'absorber ou de développer une bien plus grande quantité de travail que la meilleure machine à vapeur connue.

Le principe de la machine Gramme a été revendiqué par l'italien Pacinotti ; mais, tout en estimant cette revendication fondée, nous pensons que la machine Gramme constitue, relativement à celle de Pacinotti, un incomparable perfectionnement. Nous en appelons à tous ceux qui ont visité l'Exposition d'électricité de 1881, à Paris.

Les appareils électromoteurs, tels que ceux de Froment, de Bourbouze, etc., malgré l'ingéniosité de leur construction, n'avaient jamais donné de bons résultats comme rendement et n'avaient jamais pu développer qu'un travail insignifiant. Par un phénomène curieux, plus on augmentait leurs dimensions, plus on diminuait leur puissance et leur rendement.

Tous ces appareils reposaient sur le principe suivant : on lançait un courant électrique dans un électro-aimant ; celui-ci s'aimantait et attirait une armature ; on interrompait ensuite le courant, ce qui permettait de ramener sans dépense de travail l'armature à sa position primitive.

Or, comme on le verra dans le corps de ce Dictionnaire, on doit consi-

dérer un électro-aimant comme un véritable accumulateur d'énergie. Il faut pour l'aimanter dépenser un travail d'autant plus grand que ses dimensions sont plus grandes et qu'on veut l'aimanter plus fortement. Ce travail est d'ailleurs restitué lors de la désaimantation, sous forme d'extra-courant de rupture.

Il en résulte qu'il faut un certain temps pour aimanter un électro-aimant, et si le travail attractif qu'il peut développer augmente avec ses dimensions, le temps nécessaire pour le mettre en état d'effectuer ce travail augmente encore plus rapidement, ce qui explique pourquoi les grands électromoteurs des anciens systèmes étaient moins puissants que les petits.

D'un autre côté, le travail dépensé chaque fois pour l'aimantation est non seulement perdu lors de l'interruption du courant, mais engendre des étincelles qui ruinent promptement les commutateurs.

Dans la machine Gramme, au contraire, au lieu de produire à chaque instant un champ magnétique et de profiter de la propriété que possèdent les lignes de force de tendre toujours à se raccourcir, on développe un champ magnétique aussi puissant que possible une fois pour toutes, et on le fait traverser par une série de conducteurs qui se déplacent normalement à la direction des lignes de force et à leur propre direction.

Dans ces conditions, l'effort développé sur chaque élément du conducteur n'est fonction que de l'intensité du courant et de celle du champ magnétique. Il est indépendant de la vitesse. On comprend donc que le travail que peut fournir ou absorber un pareil électromoteur soit proportionnel à sa vitesse de rotation. Celle-ci pouvant être rendue pratiquement très grande, on a pu exciter des appareils très puissants sous un volume et un poids très faibles.

Ce que nous venons de dire s'applique à toutes les machines d'induction, à commencer par celles de Clarke, de Pixii, de l'Alliance, de Wilde, etc., qui ont précédé celle de Gramme; mais ces machines n'étaient propres qu'à fournir des courants alternatifs. Si ceux-ci venaient à être redressés par un commutateur, le courant recueilli était toujours de même sens, il est vrai; mais il était difficile, en pratique, de faire la commutation à l'instant précis où l'intensité du courant fourni était nulle, et il en résultait des étincelles dangereuses pour la conservation des appareils. D'un autre côté, on ne pouvait exciter convenablement des électro-aimants par un tel courant, à cause de la faiblesse de l'aimantation obtenue moyennant une dépense de travail donnée, et des extra-courants qui résultaient de ses intermittences; aussi la plupart de ces machines d'induction étaient-elles munies d'aimants permanents, très lourds et très coûteux.

Indépendamment des avantages qui résultent de l'emploi de courants sensiblement continus — notamment leur innocuité presque complète au point de vue physiologique et le moindre échauffement qu'ils déterminent dans

un conducteur pour un débit électrique donné, — il y avait tout intérêt à les développer pour produire des champs magnétiques très puissants au moyen d'électro-aimants.

C'est ce problème qui a été résolu par Pacinotti et Gramme; voici le principe de leur solution :

Supposons qu'au lieu d'avoir une machine à courants alternatifs redressés nous en possédions n , et que si t est la période commune des courants de toutes ces machines, leur phase varie d'un temps $\frac{t}{n}$ lorsqu'on passe d'une machine à la suivante. Si nous montons toutes ces machines en tension, la force électromotrice développée dans le circuit sera à chaque instant la somme des forces électromotrices développées au même moment par les n machines. Or, on voit immédiatement que cette somme tend à devenir constante lorsque n devient très grand.

Pacinotti et Gramme constituèrent chacune de ces machines élémentaires par une seule bobine. Ils disposèrent ces bobines le long d'un même anneau, et enfin, faisant rentrer leurs n commutateurs les uns dans les autres, ils construisirent la machine à anneau et collecteur à laquelle *on doit la véritable révolution qui s'est produite pendant ces derniers temps dans l'industrie électrique.*

Bien que l'éclairage par l'électricité remonte à près de cinquante années, puisque le régulateur à arc de Foucault fonctionnait à l'Opéra, entre les mains de M. Dubosq, depuis 1849, jamais cet éclairage ne serait passé dans la pratique industrielle sans l'emploi de la machine Gramme comme générateur d'électricité; mais la généralisation de ce mode d'éclairage a été rapide depuis quelque temps. Il ne s'agit plus d'allumer quelque foyer isolé; la lumière électrique éclaire des rues, des places, des théâtres, des magasins, des usines, des gares de chemins de fer, et elle commence à s'introduire dans les habitations particulières; aussi la multiplicité des usages a provoqué de nombreuses inventions, depuis les puissants foyers des phares, lançant des éclats de plusieurs milliers de carrels, jusqu'aux lampes à incandescence équivalant modestement à quelques bougies.

La réversibilité de la machine Gramme fut promptement remarquée par son inventeur, qui songea, en 1873, à en profiter pour transmettre du travail à distance au moyen d'un courant circulant le long d'un conducteur. M. Cabanellas comprit le premier l'avenir réservé à ce nouveau mode de transmission et s'occupa de rechercher les moyens de le rendre économique et réellement applicable. Enfin M. Marcel Deprez, chargé d'étudier spécialement cette question, est parvenu à transmettre un travail utile de 40 chevaux par

un conducteur de 114 kilomètres de longueur ayant seulement 0^m,005 de diamètre, et cela avec un rendement de 50 %. La possibilité pratique de transmettre au loin un grand travail, par des conducteurs peu coûteux, au moyen de courants de haute tension, possibilité qui n'avait jamais été douteuse en théorie, a été ainsi bien établie. Néanmoins il restait de nombreux progrès à réaliser pour arriver à une solution véritablement industrielle de la question. Ces progrès devaient surtout porter sur la réduction de poids, et, par suite, de prix des machines employées. Ils viennent d'être réalisés par M. Fontaine, qui, avec le concours de M. Gramme, est parvenu à transporter 50 chevaux avec un rendement de 52 % à travers la même résistance, et cela au moyen d'un matériel ne pesant en tout que 8.000 kilogrammes.

L'invention du téléphone, due à Graham Bell, remonte seulement à l'année 1876. Si l'on compare le résultat extraordinaire obtenu, — le transport de la parole à distance, — à la simplicité des moyens d'action, on peut dire que le téléphone est la plus merveilleuse machine que les hommes aient jamais conçue. Elle est sortie complète des mains de son inventeur. Le seul perfectionnement sensible, et presque immédiat, apporté à la téléphonie proprement dite, a été l'emploi du microphone, proposé par Hughes et généralement adopté maintenant comme appareil de transmission.

En même temps que l'on s'empressait de propager le téléphone, la nécessité d'augmenter le rendement des lignes télégraphiques aériennes, souterraines et sous-marines, s'imposait de plus en plus, à cause de l'extension des réseaux, devenus de plus en plus coûteux, et du nombre toujours croissant des télégrammes. Aussi, par une conséquence naturelle et forcée, les anciens appareils de communication télégraphique recevaient de grands perfectionnements : on parvenait à transmettre sur le même fil plusieurs dépêches à la fois, soit avec l'appareil harmonique de Gray, soit avec les télégraphes multiples, parmi lesquels il faut citer particulièrement celui de Baudot, véritable chef-d'œuvre mécanique. Ginkel, en 1853, découvrit le principe du *duplex*, dont l'application double le rendement de toute ligne télégraphique, même munie d'appareils multiples, en permettant d'envoyer des dépêches simultanément dans les deux sens. Enfin, au commencement de l'année 1882, M. Van Rysselberghe a trouvé le moyen d'utiliser les *mêmes fils* pour l'échange simultané des dépêches par le télégraphe et de la parole par le téléphone.

Récemment on s'est beaucoup occupé des accumulateurs. Il est incontestable qu'un bon accumulateur est indispensable à l'extension des installations industrielles d'électricité, où il jouerait le rôle d'un réservoir dans une distribution d'eau. La pile secondaire de M. Gaston Planté a été le type d'une

foule d'accumulateurs; les plus grands progrès obtenus jusqu'ici sont dus à M. Faure, qui s'est assuré ensuite le concours de MM. Sellon et Volckmar, ainsi qu'à M. de Montaud, bien que la voie suivie par ces divers inventeurs ne soit pas la même. Mais pour trouver un bon accumulateur, pouvant emmagasiner beaucoup de travail sous un faible poids, et d'une durée considérable, il faudrait peut-être sortir du chemin battu jusqu'ici.

Nous terminerons ce rapide exposé des progrès successifs accomplis en électricité en rappelant qu'elle joue aujourd'hui un certain rôle dans la thérapeutique. Elle agit sur les organismes, soit en excitant les cellules de la même manière que l'ébranlement transmis par les centres nerveux, soit d'une manière purement physique en électrolysant les liquides de l'économie. Elle fournit ainsi un moyen très commode de déterminer une cautérisation en un point quelconque du corps.

D'un autre côté, le potentiel électrique ou magnétique, bien qu'il n'exerce pas sur nous de sensation spéciale, a la propriété de réagir sur les fermentations en lesquelles se résume toute vie animale. Il est constaté, en particulier, que le fait d'isoler un individu et de le mettre en relation avec le conducteur positif d'une machine de Holtz, a pour résultat de régulariser toutes les fonctions du système nerveux.

Nous remplissons un agréable devoir en remerciant M. Brocchi, inspecteur du service télégraphique des chemins de fer de l'Est, qui a été pour nous un collaborateur actif et dévoué; M. Delpeuch, inspecteur des appareils électriques de la voie aux chemins de fer de l'Est, qui a bien voulu nous donner d'utiles renseignements; M. le D^r Portafax, ancien médecin des hôpitaux maritimes, qui a rédigé les articles de physiologie et de thérapeutique; enfin tous les inventeurs, constructeurs et auteurs qui ont mis avec le plus grand empressement à notre disposition les documents qu'ils possédaient, pour nous permettre de mener à bonne fin notre œuvre de vulgarisation scientifique et industrielle.

Nota. — Dans le texte courant de ce Dictionnaire, nous avons imprimé certains mots en LETTRES CAPITALES pour indiquer qu'ils sont l'objet d'un article spécial, à leur ordre alphabétique.

DICTIONNAIRE

THÉORIQUE ET PRATIQUE

D'ÉLECTRICITÉ ET DE MAGNÉTISME

A

ACCOUPEMENT. — Expression par laquelle on désigne l'action de réunir les uns aux autres deux ou plusieurs générateurs d'électricité : éléments de pile, accumulateurs, machines électriques.

Accouplement des piles. — Les piles et en général les générateurs d'électricité peuvent être assemblés, associés, groupés ou montés : 1° en quantité ou en surface (fig. 1); 2° en série ou en tension (fig. 2 et 3); 3° à la fois en quantité et en tension (fig. 4 et 5).

Dans le premier cas, on réunit d'une part toutes les électrodes positives; d'autre part, toutes les électrodes négatives. — Dans le second cas, on réunit l'électrode négative de chaque élément à l'électrode positive du suivant, et ainsi de suite. — Dans le troisième cas, on forme plusieurs groupes d'éléments, que l'on réunit en tension, et on

En général, un élément de pile constitué d'une façon déterminée ne peut développer une FORCE ÉLECTRO

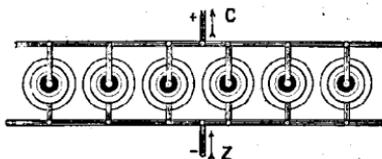


Fig. 1. Accouplement des éléments en quantité.

MOYENNE constante qu'à la condition de fournir une intensité inférieure à une certaine limite i .

Si l'on connaît la valeur de cette limite et en même temps la résistance r de l'élément et sa force électromotrice E , on est à même de résoudre tous les problèmes qui peuvent se poser. Nous allons, à titre d'exemples, traiter deux questions particulières.

1° On veut développer dans un circuit extérieur de résistance R un courant d'intensité I . Quel nombre d'éléments devra-t-on employer, et comment devra-t-on les grouper pour que le RENDEMENT du système soit de $n\%$?

Si nous supposons que chaque élément doit développer une intensité i , il faudra évidemment composer la pile avec des groupes de $n = \frac{I}{i}$ éléments montés en QUANTITÉ.

La quantité d'énergie dégagée dans tout le circuit sera, en désignant par R' la résistance de la pile : $(R + R') I^2$.



Fig. 3. — Accouplement des éléments en tension.

assemble ces groupes en quantité. La fig. 4 représente six éléments montés en groupes de trois en tension sur deux en quantité. La fig. 5 représente ces mêmes éléments montés en groupes de deux en tension sur trois en quantité.

Le mode de réunion des couples dont on dispose ayant une grande influence sur les effets qu'on peut obtenir de la pile, il importe de donner à cet égard quelques explications et d'indiquer comment on peut arriver, dans chaque cas, à trouver le mode de réunion le plus favorable.

La quantité d'énergie utilisée dans le circuit extérieur sera :

$I^2 R$

On aura donc :

$$(1) \quad n = \frac{R}{R + IR'}$$

D'un autre côté, la pile devra comprendre un nombre n' de groupes montés en TENSION, tel que :

$$(2) \quad n'E = (R + R') I.$$

Éliminons R' entre les équations (1) et (2), il viendra :

$$n' = \frac{RI}{nE}$$

Ainsi, on devra prendre un nombre n' d'éléments égal à $\frac{1}{n} \times \frac{RI}{E}$, et on en formera $\frac{RI}{nE}$ groupes de $\frac{1}{n}$ éléments groupés en quantité, qu'on accouplera en tension.

On verra plus loin, au sujet du TRANSPORT électrique

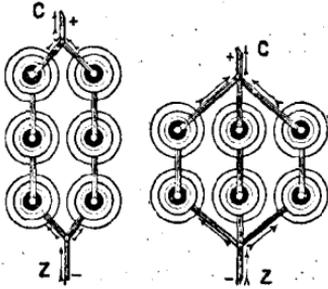


Fig. 4 et 5. — Accouplement des éléments en quantité et en tension.

de l'énergie, que ce nombre d'éléments est minimum lorsque l'on adopte pour le rendement la valeur de 50 %.

2° On veut alimenter un moteur dont la résistance est r et qui développe une contre-force électromotrice égale à e . La résistance du circuit qui relie la pile aux bornes du moteur est égale à R , et l'on veut que le travail fourni par le moteur soit de N kilogrammètres par seconde.

L'INTENSITÉ du courant traversant le moteur sera, en désignant par g l'accélération due à la pesanteur :

$$I = \frac{gN}{e}$$

Il faudra donc composer la pile avec des groupes de $\frac{gN}{eI}$ éléments montés en quantité.

Quant au nombre n' de ces groupes que l'on devra monter en tension, il sera donné par l'équation :

$$n'E - e = \frac{gN}{e} \left[R + r + n' \frac{rI}{gN} \right],$$

d'où

$$n' = \frac{gN}{e} \left[\frac{e^2 + gN(R+r)}{EgN - rI} \right].$$

Le rendement, qui est égal au rapport des forces électromotrices de sens inverses développées par le moteur et par la pile, sera donné par la formule :

$$\frac{eI}{EgN} \left[\frac{EgN - rI}{e^2 + gN(R+r)} \right].$$

On pourrait aussi se donner *a priori* le rendement et calculer le travail que l'on pourrait faire développer par le moteur.

Si l'on ne s'imposait pas la condition que chaque

élément débite à la seconde une quantité déterminée d'électricité, on pourrait trouver un mode de groupement de ces éléments qui permet de développer un travail donné sur le moteur, avec un rendement aussi donné.

Accouplement des machines. — De

même qu'à un élément de pile déterminé convient un certain débit d'électricité si l'on veut pouvoir compter sur la permanence du phénomène, de même une machine ne saurait fournir d'une manière continue un courant d'une intensité supérieure à une certaine limite I qui dépend de la constitution de la machine.

C'est à cette valeur limite que M. Cabanellas a donné le nom de DÉTERMINANTE.

Généralement la vitesse de rotation de la machine et par suite la force électromotrice E , qui correspond à l'intensité I , sont fixées par des conditions mécaniques.

Si on désigne maintenant par R la résistance intérieure de la machine, on pourra la considérer comme une pile de résistance R , de force électromotrice E et de débit I , et résoudre les divers problèmes relatifs à l'accouplement des machines semblables comme il a été dit à l'article précédent.

Mais on doit prendre garde, dans les applications pratiques, et lorsqu'il s'agit de réunir en quantité plusieurs DYNAMOS, que la différence de potentiel aux bornes des machines soit sensiblement inférieure à leur force électromotrice normale; sans quoi, les moindres variations de cette dernière, quand on passerait d'une machine à une autre, produiraient de grandes différences dans l'intensité fournie par chacune d'elles, ce qui changerait complètement les conditions que nous avons supposées remplies.

Il pourrait même arriver que cette intensité changeât de sens et qu'une des machines se mit à développer du travail mécanique au lieu d'en absorber. Le meilleur moyen d'éviter cet inconvénient consiste à monter en série tous les inducteurs et à brancher leur circuit sur les bornes avec lesquelles sont en relation les balais de tous les inducts. Mais pour cela, il faut généralement changer le fil des inducteurs, et le remplacer par un plus gros.

Le montage en série des dynamos n'occasionne aucune difficulté.

Quant aux machines à courants alternatifs, on peut les grouper comme les précédentes, mais à une condition, c'est que toutes les phases des diverses machines coïncident. Ce résultat ne peut être obtenu pratiquement qu'en calant toutes les machines sur un même axe.

Le problème de l'accouplement des machines offre un grand intérêt, si l'on se place au point de vue suivant :

L'expérience semble avoir démontré, comme l'avait prévu M. Cabanellas, que les grosses machines obliques en multipliant par un rapport constant toutes les dimensions linéaires des machines ordinaires sont loin de donner lieu à une aussi bonne utilisation spécifique des matériaux que ces dernières.

Néanmoins, il y a un intérêt majeur à n'avoir à commander qu'un seul grand appareil au lieu d'un grand nombre de petits. Aussi l'avenir nous semble-t-il réservé aux machines qui, tout en constituant, au point de vue mécanique, un seul grand appareil, seront formées, au point de vue électrique, par un grand nombre de moyens, c'est-à-dire aux machines multipolaires.

Jusqu'à présent, toutes les dynamos élémentaires qui constituent une machine multipolaire ont été montées en quantité, et même on a généralement mis

deux balais par machine élémentaire, ce qui offre de graves inconvénients pratiques.

MM. Marcel Deprez et Maurice Leblanc ont montré qu'il est possible de grouper les diverses bobines d'un anneau de façon à régler à volonté soit l'intensité, soit la force électromotrice du système, et cela en n'employant jamais que deux balais, comme dans les dynamos ordinaires.

1° Nous supposons, pour plus de simplicité, que la machine n'ait que quatre pôles.

D'après le mode de montage ordinaire, les différentes bobines seraient en relation avec les touches successives, complètement isolées les unes des autres, d'un collecteur identique à celui des machines Gramme, et nous aurions quatre balais a, β, a', β' à 90° les uns des autres (fig. 6).

Dès lors, si nous mettons les balais a, a' en relation avec l'une des bornes d'une machine génératrice, les balais β, β' avec l'autre borne, l'anneau AA serait parcouru par une série de courants d'intensités égales et dont les sens sont indiqués par les flèches de la figure.

Les touches a et a' sont au même potentiel, puisqu'elles sont en relation directe avec la même borne de la génératrice; il en est de même pour les touches β, β' .

Considérons maintenant les deux bornes μ et μ' diamétralement opposées et également distantes des bornes a et a' . Pour aller de a en μ ou de a' en μ' , le

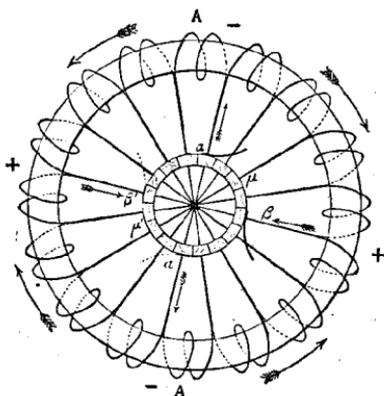


Fig. 6.

courant doit franchir le même nombre de bobines et subir dans les deux cas les effets de contre-forces électromotrices égales (les actions magnétiques sont les mêmes par raison de symétrie).

Les deux touches μ et μ' sont donc au même potentiel.

Il en résulte que si nous relient, comme il est représenté sur la fig. 6, chaque touche à la touche diamétralement opposée par un conducteur isolé et de résistance nulle, les extrémités de ces conducteurs étant au même potentiel, ceux-ci ne seront traversés par aucun courant.

Supprimons maintenant les balais a' et β' , les touches a et a', β et β' se maintiendront au même poten-

ACCOUPEMENT

tiel, grâce à la présence des conducteurs a, a', β, β' , de même que deux touches diamétralement opposées, quelconques μ et μ' .

La distribution du courant se fera donc de la même manière que tout à l'heure, alors que nous avions quatre balais et que toutes les touches du collecteur étaient complètement isolées les unes des autres.

Si, au lieu d'avoir à développer quatre pôles, on en avait $2n$, la même solution s'appliquerait, seulement

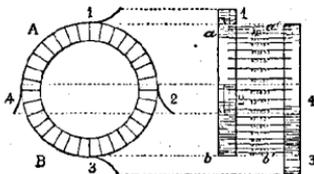


Fig. 7.

les deux balais, au lieu de comprendre entre eux un angle égal à $\frac{\pi}{2}$, devraient comprendre un angle égal à $\frac{\pi}{n}$. De plus, chaque touche du collecteur, au lieu d'être reliée avec la touche séparée d'elle par un angle égal à π (le sommet de l'angle étant au centre du collecteur), devrait être reliée avec toutes les touches qui, avec elle, formeraient les sommets d'un polygone régulier de n côtés inscrits dans le collecteur.

2° Supposons encore qu'il faille développer quatre pôles dans l'anneau. Il faudrait quatre balais à 90° les uns des autres. Nous pouvons imaginer que l'on fasse tourner chaque paire de balais sur un collecteur spécial. Ainsi les balais 1 et 2 tourneront sur le collecteur ab , et les balais 3, 4 sur le collecteur $a'b'$ (fig. 7).

Nous pouvons supposer également que les deux pôles dans l'anneau. Il faudrait quatre balais à 90° les uns des autres. Nous pouvons imaginer que l'on fasse tourner chaque paire de balais sur un collecteur spécial. Ainsi les balais 1 et 2 tourneront sur le collecteur ab , et les balais 3, 4 sur le collecteur $a'b'$ (fig. 7).

Ces conducteurs souples sont représentés entre ab et $a'b'$.

Maintenant, laissons le collecteur ab fixe, et faisons tourner l'autre de 180°; la souplesse des conducteurs le permettra. Mais les balais 1 et 3, 2 et 4 viendront se ranger sur une même ligne. Il n'y a qu'à rapprocher les deux collecteurs, et la machine ne comportera plus qu'une seule paire de balais.

On peut encore faire rentrer les deux collecteurs l'un dans l'autre, et les fonder en un collecteur unique constitué de la manière suivante :

S'il y a n sections sur l'anneau, le collecteur aura

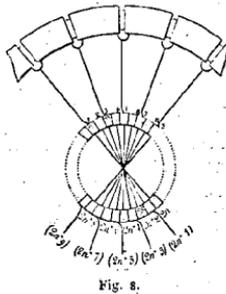


Fig. 8.

2n touches isolées les unes des autres. Numérotions-les 1, 2, 3, 4... Toutes les touches d'ordre impair seront en relation avec les sections de l'anneau (fig. 8). Mais la touche n° 1 sera, de plus, en relation avec la touche de rang n, la touche n° 3 aura la touche de rang n + 2, et ainsi de suite.

Dès lors, si un balai appuie simultanément sur les touches 1 et 2, les choses se passent comme si l'on avait deux balais dont l'un s'appuyait sur la touche n° 1 et l'autre sur la touche n° n.

Si, au lieu d'avoir quatre pôles à déterminer, on en avait 2n, le nombre des touches du collecteur devrait être égal au nombre de sections de l'anneau multiplié par n. Seules les touches de rang 1, (n + 1), (2n + 1)... seraient reliées avec les fils d'entrée des sections successives.

La touche n° 2 serait reliée à la touche de rang (n + 1)
— n° 3 — — (2n + 1)

Cette solution, un peu plus compliquée que la pré-

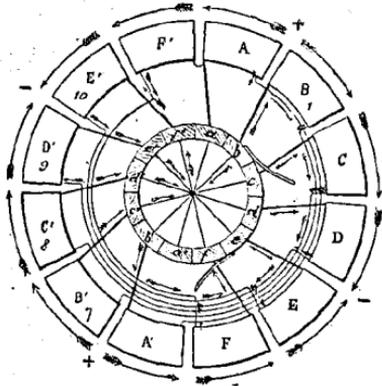


Fig. 9.

cedente, a l'avantage de ne permettre le développement d'aucun courant parasite dans les conducteurs qui relient entre elles les diverses touches du collecteur.

Nous venons de voir qu'il fallait, avec cette solution, que les balais s'appuyassent sur plusieurs touches du collecteur à la fois.

Voici deux moyens qui permettent d'arriver à ce résultat :

1° On disposera les touches du collecteur en hélice, la ligne de contact des balais étant une génératrice du cylindre;

2° Installer sur le tour un collecteur ordinaire, on déplacera l'outil suivant une droite ne rencontrant pas l'axe du cylindre, mais faisant un certain angle avec lui. Le collecteur acquerra la forme d'un hyperboloïde de révolution, et il suffira de disposer les balais de manière que leurs lignes de contact soient dirigées suivant deux des génératrices recueillies de l'hyperboloïde.

Les solutions précédentes ont le défaut de diviser le nombre total des bobines que comporte l'anneau en autant de groupes qu'il y a de pôles, et tous ces groupes étant montés en quantité, de telles machines seraient peu propres à développer une forte tension.

Cet inconvénient peut être supprimé avec le mode de montage suivant (fig. 9).

Nous supposons toujours que l'on veut développer quatre pôles, et admettons, pour simplifier la description, que l'anneau porte douze sections.

Nous désignerons les six premières par A, B, C, D, E, F, les autres par A', B', C', D', E', F'.

Nous nous servirons d'un collecteur possédant également douze touches, et désignerons les six premières par a, b, c, d, e, f, et les suivantes par a', b', c', d', e', f'.

Les touches a et a', b et b', c et c', d et d', e et e', f et f' sont reliées entre elles par des conducteurs isolés les uns des autres.

Les touches a, b, c, d, e, f sont en relation avec les sections A, B, C, D, E, F par leurs fils d'entrée. Les fils de sortie des sections A', B', C', D', E' aboutissent aux touches a', b', c', d', e', f. Quant au fil de sortie de la section F', il communique directement avec le fil d'entrée de la section A.

Les sections de l'anneau se trouvent reliées entre elles de la manière suivante :

La sortie de A est reliée à l'entrée de A'		
— B	—	B'
— C	—	C'
— D	—	D'
— E	—	E'
— F	—	F'
La sortie de A' à l'entrée de B		
— B'	—	B
— C'	—	C
— D'	—	D
— E'	—	E
— F'	—	F

Supposons maintenant que nous disposions sur le collecteur deux balais, situés à 90° l'un de l'autre, et qui s'appuient sur les touches b et e, par exemple.

Si le courant entre par la touche b, il sortira par la touche e, après s'être bifurqué au début, suivant les directions b B et b' B'. Chacune des moitiés du courant traversera successivement six sections.

La marche du courant est d'ailleurs indiquée par des flèches sur la fig. 9.

Il résulte du sens de ces flèches que nous développerons quatre pôles consécutifs dans l'anneau, que ces pôles seront alternativement positifs et négatifs, et que les balais seront toujours dans la direction d'un des deux pôles, puisque les touches b et e sont deux touches quelconques des touches a, b, c, d, e, f situées à 90° l'une de l'autre.

Faisons tourner maintenant nos balais de 90°, le courant entrera par la touche e et sortira par la touche b'.

Mais la touche b' communique seulement avec la touche b; les choses se passeront donc comme si on avait laissé les balais dans leur première position et interverti le sens du courant qui alimentait la machine, ce qui aurait eu pour conséquence d'invertir le sens des pôles développés dans l'anneau demeurant au mêmes points de l'espace.

Or, c'est bien ce résultat que doit amener une rotation de 90° des balais; la question est donc résolue.

Supposons maintenant qu'il faille développer 2n pôles. Au lieu d'avoir deux groupes de sections A, B, C, D, E, F et A', B', C', D', E', F', nous en aurons n, à savoir :

- A, B, C, D, E, F,
- A', B', C', D', E', F',
- A_n, B_n, C_n, D_n, E_n, F_n.

Dans ce cas, nous monterons en tension les sections

$A_1, A_2, \dots, A_n, B, B, B, \dots, B_n \dots F, F, \dots, F_n$, puis nous relierons :

Le fil de sortie de A_n au fil d'entrée de B_1

—	B_n	—	C_1
—	C_n	—	D_1
—	D_n	—	E_1
—	E_n	—	F_1
—	F_n	—	A_1

Le collecteur contiendra n groupes de touches, savoir :

$a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1$
 $a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2$
 \dots
 $a_n, b_n, c_n, d_n, e_n, f_n$

Seules, les touches des groupes a, b, c, d, e, f , seront en relation avec les fils d'entrée des sections A, B, C, D, E, F . Mais les touches

$a_1, a_2, \dots, a_n, \dots, b_1, b_2, \dots, b_n, \dots, f_1, f_2, \dots, f_n$ seront reliées entre elles par des conducteurs isolés.

Enfin, nous emploierons toujours deux balais, mais ceux-ci ne seront plus séparés que par un angle égal à $\frac{\pi}{n}$.

ACCUMULATEUR. — On désigne sous le nom d'accumulateur ou de pile secondaire toute pile constituée de telle sorte que, lorsqu'on la fait traverser par un courant inverse de celui qu'elle produit, les corps qui la composent soient ramenés à leur état primitif. La pile est alors susceptible de fournir une nouvelle somme d'énergie électrique. Un accumulateur est donc à proprement parler une pile qui peut être régénérée indéfiniment.

Le principe des accumulateurs a été découvert en 1833 par Grove (pile à gaz de Grove).

Théoriquement, toute pile qui, comme la pile Daniell, ne donne lieu à aucun dégagement gazeux, peut être reconstituée par le passage d'un courant de sens inverse à celui qu'elle fournit. Mais, jusqu'à présent, on n'a obtenu de véritables résultats pratiques qu'avec les appareils à lames de plomb de M. Planté, ou avec ceux qui en dérivent directement.



Fig. 1.
Accumulateur Planté.

L'accumulateur imaginé par M. Planté en 1860 (fig. 4) se compose de deux lames de plomb plongées dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique et qui pendant un certain temps sont mises en communication avec les pôles d'une pile ou d'une machine électro-magnétique ou dynamo-électrique à courant continu.

La fig. 2 donne la vue d'un accumulateur Planté à lames de plomb enroulées en hélice en chargement au moyen du courant fourni par deux éléments Bunsen. A et A' sont deux lames de cuivre reliées aux deux pôles de l'accumulateur. Entre la lame A et le pôle correspondant de l'accumulateur est intercalé un COMMUTEUR-INTERRUPTEUR dont il suffit de pousser le bouton B pour établir la com-

ACCUMULATEUR

munication électrique. La figure représente la disposition prise pour faire fondre ou pour volatiliser, à l'aide du courant fourni par l'accumulateur, un fil fin F.

Pendant l'opération du chargement, la lame de plomb négative absorbe de l'hydrogène, tandis que la lame de plomb positive se peroxyde.

L'absorption de l'hydrogène par le plomb n'est

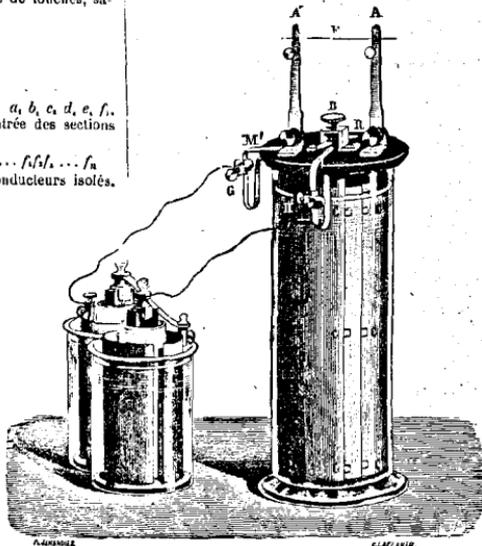


Fig. 2. — Vue perspective d'un accumulateur Planté en chargement.

qu'un cas particulier de cette propriété générale que possèdent les métaux, et qui se trouve surtout développée dans le palladium, d'absorber les gaz. Cette propriété dépend beaucoup de la porosité de la surface métallique, et l'on comprend que, plus cette surface sera poreuse, plus l'accumulateur pourra recevoir une forte charge.

Aussi, avant de pouvoir employer utilement un accumulateur, il faut développer autant que possible cette porosité; c'est ce qu'on appelle « procéder à la formation de l'accumulateur ». On y parvient en changeant, par intervalles, le sens du courant primaire agissant sur le couple secondaire.

Pour rendre cette formation plus rapide, M. Planté a imaginé de chauffer les bains de formation ou, ce qui est plus pratique, de décaper profondément les lames de plomb en les plongeant dans un bain d'acide azotique étendu de la moitié de son volume d'eau. L'acide, en attaquant le plomb, par suite des courants locaux que détermine l'hétérogénéité du métal, le rend poreux, ce qui facilite l'action ultérieure du courant.

Quand on charge un accumulateur, il arrive un moment où il a absorbé la plus grande masse de gaz qu'il soit susceptible de faire. Alors il est complètement chargé. Si on continuait à faire passer le cou-

rant, toute son énergie serait employée à décomposer l'eau en pure perte. On s'aperçoit facilement d'ailleurs que la charge d'un accumulateur est complète, au dégageant de gaz qui se manifeste.

Dans un accumulateur de poids déterminé il faut considérer : la force électromotrice, la résistance intérieure, la quantité totale d'électricité emmagasinée et la décharge utilisable.

La force électromotrice d'un accumulateur genre Planté qui, au début de son fonctionnement, est de 2,50 volts environ, ne se maintient à ce chiffre que pendant quelques minutes; elle décroît rapidement et tombe à environ 1,95 volt. Cette force électromotrice se maintient constante pendant les 2/3 de la décharge.

M. Planté explique que l'excès de force électromotrice des premiers instants est dû à la formation, pendant la charge, de produits suroxygénés, mais très peu stables, tels que l'ozone, l'eau oxygénée, les oxydes supérieurs du plomb.... Ces produits se détruisent avec la plus grande facilité, leur action ne peut se manifester que pendant les quelques minutes qui suivent la rupture du courant primaire. Ensuite, l'accumulateur se comporte comme une véritable pile dont l'électrode négative serait constituée par un alliage de plomb et d'hydrogène, ce dernier se comportant toujours comme un métal, et l'électrode positive par une plaque dépolarisante de peroxyde de plomb.

La résistance intérieure dépend de la surface des plaques de plomb et de leur distance, comme dans toute pile. M. Hospitalier dit qu'un couvercle de 50 décimètres carrés de surface totale, dont les lames sont distantes de 0^m,005, a une résistance de 0,04 à 0,05 ohm, suivant le degré de formation. La résistance augmente avec celui-ci, comme nous le verrons plus loin.

Quant à la quantité totale d'électricité emmagasinée, elle peut se calculer d'après la quantité de peroxyde de plomb produit sur les lames positives par l'action du courant de charge. Ainsi, si on fait passer dans un couple bien formé un courant de 10 ampères-heures, par exemple, le poids de peroxyde de plomb produit sera de 443 grammes environ (puisque 1 coulomb est capable de produire 1,24 milligramme de peroxyde de plomb, et que 10 ampères-heures représentent 36.000 coulombs). A la décharge, le peroxyde de plomb ne se réduira pas complètement. Ce fait tient à ce que le peroxyde de plomb est un corps beaucoup plus stable que l'alliage de plomb et d'hydrogène qui se dépose sur la plaque négative. Celui-ci se détruit peu à peu spontanément, que l'accumulateur fonctionne ou non. Il y a donc nécessairement une partie de l'électricité fournie pendant la charge qui ne sera pas restituée lors de la décharge.

Cette perte est évaluée pratiquement à environ 20 % de la charge. Mais ces chiffres ne représentent pas l'utilisation réelle. Il faut remarquer, en effet, que l'accumulateur ne donne un courant suffisamment constant que pendant les 75/100 environ de sa décharge; ce qui s'explique parce que, au bout d'un certain temps, une portion des lames de plomb se trouve ramenée à l'état naturel. Il se produit alors des courants locaux qui absorbent une notable partie de l'énergie disponible. Il en résulte que la quantité d'électricité disponible se réduit aux 70 % des 80/100 de la charge soit aux 60 % de la charge.

C'est bien ce qu'indiquent les expériences faites lors de l'Exposition d'électricité de Paris en 1881 sur

les accumulateurs par MM. Allard, Le Blanc, Joubert, Potier et Tresea. Les accumulateurs expérimentés ont rendu en décharge utilisable environ 60 % de l'électricité emmagasinée.

Plusieurs modifications ont été apportées aux accumulateurs Planté dans le but d'augmenter leur puissance d'emmagasinement par unité de poids, et de réduire la durée de la formation.

Parmi les accumulateurs genre Planté, nous citerons ceux de MM. de Kabath, de Pezzer, de Méritens, de Tommasi, Arnoud et Taminé, de Reynier, qui ne diffèrent des accumulateurs primitifs de Planté que par la disposition des lames, gaufrage, feutrage, plissage, etc.

Nous devons faire ici une mention spéciale pour les accumulateurs de M. de Montaud. Cet ingénieur est revenu au type Planté primitif, qui est de beaucoup le plus robuste; mais il a considérablement perfectionné

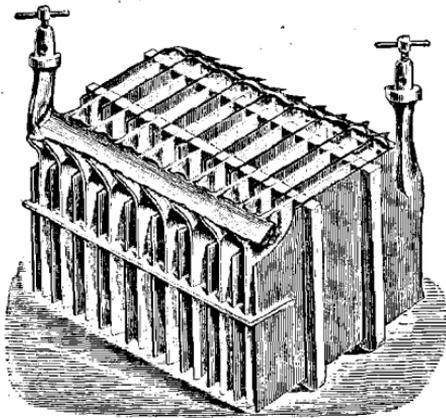


Fig. 2. — Accumulateur de Montaud.

son mode de formation. Voici comment il procède.

Il met ses plaques dans une solution chaude de lixivage, dans un sel alcalin, et il électrolyse le liquide. Grâce à ce traitement, la plaque positive se recouvre rapidement de peroxyde de plomb adhérent, et la plaque négative d'un dépôt de plomb pulvérulent.

La plaque négative est alors soumise à l'action d'un laminoir, qui incruste énergiquement ces parcelles métalliques dans la plaque, tout en leur laissant leur porosité chimique.

Ces accumulateurs peuvent facilement supporter un courant de charge de 10 ampères par mètre carré et un courant de décharge de 20 ampères par mètre carré. Ils sont aussi puissants à égalité de poids que ceux que nous allons décrire, mais paraissent leur être très supérieurs comme durée.

La fig. 3 donne la vue perspective de cet accumulateur sorti de sa boîte.

En 1881 M. C. Faure a imaginé une disposition ayant pour but d'augmenter la capacité d'absorption de l'électricité et de diminuer dans une grande proportion la durée de la formation. Cette disposition consiste dans l'emploi de lames de plomb plates ou

contournées en spirales, recouvertes de minium maintenu contre les plaques à l'aide de papier parchemin et de feutre (fig. 4).

À part l'économie de temps réalisée sur la durée de la formation, cette disposition ne présente pas d'avantages sur les accumulateurs genre Planté. Au bout de peu de temps, les tissus destinés à maintenir le minium contre les plaques se détruisent et l'accumulateur se trouve hors de service.

Pour parer à cet inconvénient, MM. Faure, Sellon et Volckmar ont employé des plaques percées de trous

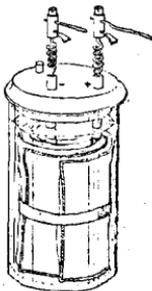


Fig. 4. — Accumulateur Faure

ou quadrillages en plomb fondu dans lesquels on comprime du minium, du plomb réduit ou un sel de plomb.

Cet accumulateur se compose de plaques de plomb fondues, quadrillées, placées verticalement et séparées les unes des autres par des jones ou mieux par des bagues de caoutchouc de 0^m,05 de diamètre environ. Ces plaques sont montées dans des boîtes doublées de plomb, assez longues pour permettre la dilatation des plaques ou *foisonnement*, due à l'accroissement de volume que subissent le plomb fondu ou les sels en absorbant des gaz. Le nombre des plaques est impair, afin que les deux faces de toutes les plaques positives soient en regard d'une plaque négative. Il y a, par exemple, 5 plaques positives pour 6 plaques négatives.

La fig. 5 donne la vue en coupe longitudinale et en plan d'un accumulateur Faure-Sellon-Volckmar, tel qu'on les construit aujourd'hui.

Voici maintenant quelques renseignements pratiques sur la formation et la charge.

Avant d'être mises dans les boîtes les plaques sont garnies, les positives de minium, les négatives de litharge. Après un temps de séchage que la pratique seule indique, les plaques sont mises en formation dans des cuves; elles sont soumises à un courant de 0,5 ampère par kilogramme de plaques pendant vingt heures. On les décharge ensuite et on les recharge. On recommande cette opération jusqu'à ce que la formation soit suffisante; à ce moment les plaques négatives ont pris un aspect gris de plomb et les positives une couleur brun foncé de peroxyde de plomb. On les monte dans les boîtes doublées de plomb avec de l'eau acidulée à 1/10 d'acide sulfurique.

Si l'on ne veut pas exposer ces accumulateurs à une destruction rapide, la charge ne doit pas être donnée à raison de plus de 3/4 d'ampère par kilogramme de matière utile, et la décharge ne doit pas se faire à raison de plus d'un ampère. Ainsi un accumulateur

ACCUMULATEUR

pesant 60 kilogrammes bruts et ayant 42 kilogrammes de matière utile devra être chargé à raison de 32 ampères et déchargé à raison de 42 ampères. Ces nombres ne sont que des maxima, et l'on peut, sans inconvénient, les diminuer.

Les accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar donnent de meilleurs résultats, au point de vue de la durée, que les accumulateurs de M. Faure avec tissus séparateurs.

Il convient de signaler également les diverses tentatives faites par plusieurs inventeurs pour constituer des accumulateurs avec d'autres métaux que le plomb.

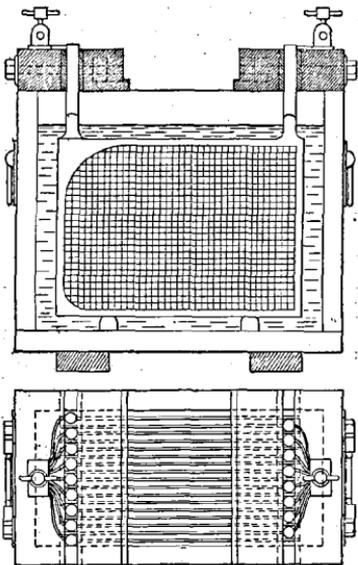


Fig. 5. — Vue en coupe longitudinale et en plan d'un accumulateur Faure-Sellon-Volckmar.

MM. Thompson et Houston ont créé un couple secondaire composé de cuivre, de charbon et d'une dissolution de sulfate de zinc. Le courant de charge transforme et décompose le sulfate de zinc, le zinc réduit se porte sur le charbon, l'acide sulfurique mis en liberté dissout une partie de l'électrode cuivre et forme ainsi une sorte d'élément Daniell à gravité.

M. Reynier a constitué des accumulateurs au cuivre et au zinc ainsi composés :

Accumulateur au cuivre. Positif : plomb peroxydé; négatif : plomb cuivré; liquide : eau acidulée sulfurique tenant en dissolution du sulfate de cuivre.

Accumulateur au zinc. Positif : plomb peroxydé; négatif : lame de zinc amalgamée; liquide : eau acidulée sulfurique tenant en dissolution du sulfate de zinc.

M. Varley (Amérique) forme un accumulateur en plongeant deux électrodes de charbon dans une dissolution contenant du sulfate de zinc et du sulfate de manganèse. M. D'Arsonval et ensuite M. Maiche ont

proposé la régénération des piles Leclanché, ce qui revient à constituer un accumulateur zinc-manganèse.

Ces différents genres d'accumulateurs ayant donné de moins bons résultats que ceux au plomb et à l'acide sulfurique, on revient maintenant aux accumulateurs genre Planté.

Voici maintenant quelques renseignements généraux sur la puissance d'emmagasinement et de débit des accumulateurs :

1° Si on veut un bon rendement, il ne faut pas demander à un accumulateur un débit de plus de 0,5 ampère par kilogramme de poids total. Ainsi un accumulateur pesant 200 kilogrammes ne devra pas fournir plus de 100 ampères (en supposant tous les éléments montés en quantité).

2° Si au contraire on a besoin d'un débit rapide, le rendement s'abaisse. Le débit maximum que peut fournir un accumulateur peut atteindre facilement 6 ampères par kilogramme de poids total. Dans le cas précité, l'accumulateur de 200 kilogrammes pourrait fournir un courant de 1.200 ampères.

3° La puissance d'emmagasinement des accumulateurs actuels est d'environ 3.500 à 4.000 kilogrammètres par kilogramme de plaques, ce qui oblige de donner un poids de 70 à 80 kilogrammes à des accumulateurs capables d'emmagasiner une force de 75 kilogrammètres par seconde pendant une heure.

On espère que les accumulateurs rendraient de grands services, puisqu'ils offrent théoriquement un moyen commode, non seulement d'emmagasiner, mais de transporter l'énergie à des distances quelconques. Malheureusement, en pratique on se heurte à des difficultés sérieuses :

La capacité d'emmagasinement de ces appareils est encore faible par rapport à leur poids.

Le rendement définitif, c'est-à-dire le rapport entre l'énergie disponible et celle qu'il faut dépenser pour charger l'appareil, n'est que de 40 % ; car il faut tenir compte de l'énergie absorbée pendant la charge par la résistance de la source d'électricité, et de celle absorbée pendant la décharge par la résistance de l'accumulateur.

Les plaques positives s'usent avec une grande rapidité et l'entretien de l'accumulateur est, par suite, très coûteux. Enfin, la charge des accumulateurs prend au moins autant de temps que leur décharge.

Ces inconvénients ont jusqu'à présent restreint l'usage des accumulateurs, qui ont été essayés à différentes reprises pour la traction et pour la lumière électrique. Dans ce dernier cas, les accumulateurs servent soit de source d'électricité, soit de volant interposé entre la source variable d'électricité et les lampes alimentées par cette source : on parvient ainsi à rendre sensiblement constant un courant dont les variations seraient nuisibles, comme dans le cas où l'on se sert d'une machine dynamo actionnée par un moteur à gaz. Ils peuvent servir aussi à emmagasiner le travail d'un moteur de puissance médiocre, mais qui travaille d'une façon continue.

Ils pourraient donc rendre les plus grands services dans une installation d'éclairage électrique, car ils joueraient le même rôle qu'un gazomètre dans une installation de gaz. De plus, pour les distributions d'électricité, ils donneraient une excellente solution du problème qui consiste à transporter de l'électricité de faible quantité, mais de haut potentiel, et à distribuer de l'électricité de grande quantité, mais de faible potentiel.

Les deux installations les plus importantes qui aient été faites à Paris sont celle du théâtre des Variétés (1881) et celle de la Recette principale des Postes (1882), qui n'avait pas moins de 1.400 lampes.

Dans le premier cas il s'agissait d'obtenir un éclairage électrique qui aurait nécessité une machine à vapeur ou à gaz d'environ 33 chevaux de force. Cette machine n'aurait fonctionné que pendant la durée des représentations. Grâce à l'emploi d'une série d'accumulateurs on a pu faire l'éclairage en question à l'aide d'un moteur de 12 chevaux seulement travaillant quinze heures sur vingt-quatre.

Dans le deuxième cas, une machine de 33 chevaux actionnait 8 dynamos, qui chargeaient 300 accumulateurs groupés par 25 en tension, formant 12 batteries réunies elles-mêmes en quantité.

On trouvera à l'article TRACTION ÉLECTRIQUE une relation des principales expériences faites jusqu'à ce jour pour remorquer des véhicules à l'aide d'accumulateurs.

Malgré leurs défauts, les accumulateurs n'en constituent pas moins le meilleur procédé qu'on ait encore imaginé jusqu'à aujourd'hui pour emmagasiner du travail. Avec les accumulateurs, 1 kilogramme de matière peut absorber 4.000 kilogrammètres environ, tandis que l'emploi de l'air comprimé à 30 atmosphères ne permet d'emmagasiner que 3.000 kilogrammètres par kilogramme d'air et d'eau chaude. Enfin, dans les machines à eau chaude du système Lamu et Franck, 1 litre d'eau à 200° ne peut fournir que 1.500 kilogrammètres. De plus, il ne faut pas oublier que dans ces deux derniers systèmes le poids des réservoirs à air ou à eau chaude est au plus grand ou du même ordre de grandeur que les poids d'air ou d'eau qu'ils peuvent contenir.

L'accumulateur présente encore un grand avantage sur ces derniers modes d'emmagasinement du travail, au point de vue de l'encombrement. Son plus grand défaut dans le cas où il s'agit d'emmagasiner de l'électricité fournie d'une manière continue, mais débitée d'une façon irrégulière, tient à son peu de durée. Dans le cas où il s'agit de transporter de l'énergie, il tient à la longueur de sa charge qui, dans les applications, nécessite l'emploi d'un matériel double ou des manipulations coûteuses et dangereuses pour les appareils, tandis que les accumulateurs de travail à air comprimé ou à eau chaude peuvent être rechargés presque instantanément.

Les accumulateurs seront certainement perfectionnés, mais il faudra sans doute sortir du chemin battu jusqu'à ce jour.

En effet, dans l'accumulateur à lames de plomb, les matières actives, alliage de plomb et d'hydrogène et peroxyde de plomb, sont peu conductrices, et il est impossible de pousser aussi loin qu'on le voudrait la période de formation.

On a essayé de remplacer le grillage en plomb de MM. Faure-Sellon-Voickman par un autre métal tel que du laiton ou du cuivre. On espérait ainsi limiter la formation de la plaque négative. Mais ces essais ne paraissent pas avoir abouti, ce qu'il était facile de prévoir en songeant aux courants locaux qui doivent se former dans de pareilles circonstances.

Il semble cependant que M. Jullien soit arrivé à de bons résultats en remplaçant le plomb du grillage par un alliage formé de :

Plomb.....	92 %
Antimoine.....	3,5 %
Mercure.....	4,5 %

D'un autre côté, la plaque positive, en absorbant de l'oxygène, augmente considérablement de volume, les dilations qui accompagnent les charges successives ont pour effet de détacher le peroxyde du grillage, et il en résulte une perte de matière active qu'on a

pu évaluer à 250 grammes par cheval-heure fourni par l'appareil. Aussi ne faut-il pas s'étonner que les plaques positives soient généralement mises hors de service au bout de six mois.

Cet inconvénient est moins sensible dans les accumulateurs où la matière active est répartie sur une grande surface et sous une faible épaisseur, comme dans le type primitif de M. Planté ou dans ceux qui en dérivent directement. Mais M. de Montaud admet encore une usure de 0^m,001 par an pour ses plaques positives.

Il paraît logique de remplacer le dépôt d'hydrogène par un dépôt de métal, et le peroxyde de plomb par un dépoliarisant qui soit bon conducteur.

Le métal qui s'électrolyse le plus facilement, c'est le cuivre; mais la force électromotrice d'un élément au cuivre est beaucoup trop faible, ce qui explique l'insuccès des tentatives que nous avons signalées plus haut. Le zinc conviendrait, malheureusement il se dépose en paillettes non adhérentes. Il faudrait chercher un bain et un sel convenables qui fussent au zinc ce que sont les solutions de cyanures pour l'or et l'argent.

Quant au dépoliarisant, la question est encore plus difficile. De tous ceux qui sont insolubles et jouissent par suite de la propriété d'empêcher toute usure du métal lorsque la pile ou l'accumulateur ne travaille pas, le peroxyde de plomb est un des meilleurs, au point de vue de la conductibilité et de la faible force contre-électromotrice que nécessite sa réduction.

Les dépoliarisants liquides sont bons conducteurs, mais ils présentent deux graves inconvénients :

1^o Il est difficile d'éviter les actions locales, à moins d'employer un vase poreux, ce qui est incommode et élève le prix de l'appareil, tout en le rendant fragile. On pourra peut-être y arriver par l'emploi de l'AMALGAME gras de M. Desruelles.

2^o Le dégagement d'oxygène qui s'opère le long de la plaque positive, au moment de la charge, attaque celle-ci, même quand elle est formée par une plaque de charbon. On ne peut donc employer comme dépoliarisant la solution d'acide azotique et de bichromate de soude, qui donne de si bons résultats dans les piles.

Pour toutes ces raisons, nous pensons que les recherches à faire sur les accumulateurs devraient être effectuées dans la voie suivante :

- 1^o Constituer l'accumulateur sur le type de la pile Daniell;
- 2^o Former un amalgame capable de s'opposer à la production de toute action locale;
- 3^o Faire varier les proportions de l'amalgame ou la nature du bain de telle façon que l'électrolyse du métal attaqué pendant la décharge s'opère avec une régularité parfaite pendant la charge;
- 4^o Prendre pour dépoliarisant un sel susceptible de fournir un dépôt métallique bien adhérent pendant la décharge, tout en n'absorbant qu'une force électromotrice aussi faible que possible.

Nous ferons remarquer en terminant ce que j'ai importé d'envisager dans un accumulateur, c'est la quantité d'énergie emmagasinée dans un kilogramme de matière, et non sa force électromotrice. Or, il est probable qu'en employant pour dépoliarisant un sel susceptible de fournir un dépôt métallique, il sera difficile d'atteindre la force électromotrice des accumulateurs Planté, à moins de pouvoir former l'autre électrode par un alliage de sodium, par exemple. Mais, d'un autre côté, il est probable qu'on pourra réduire très considérablement le poids des parties mortes des électrodes, et arriver en définitive à un grand bénéfice.

Le seul inconvénient que présenteront toujours les accumulateurs est la longueur démesurée de leur charge. Aussi pensons-nous que leur emploi doit être de servir de régulateur dans les distributions d'électricité, et non de servir au transport de l'énergie sous cette forme.

ACTINOMÈTRE. — Instrument imaginé par M. Morise, ayant pour but de mesurer l'intensité relative des rayons lumineux solaires aux différentes hauteurs au-dessus de l'horizon. Il est basé sur les différences de résistance que possède le sélénium lorsqu'il est soumis à l'action des rayons lumineux de différente intensité. En faisant passer par cet appareil et par un GALVANOMÈTRE le courant constant fourni par une PILE THERMO-ÉLECTRIQUE Clamond, le galvanomètre indique par ses déviations toutes les variations de l'éclairage du sélénium. L'aiguille est au zéro lorsque le sélénium est dans une obscurité complète. C'est alors que sa résistance est maximum. Le plus grand effet que puisse produire la lumière étant d'annuler la résistance du sélénium, il suffit de retirer ce dernier du circuit pour obtenir la déviation maximum de l'aiguille du galvanomètre: on détermine ainsi la division 100, correspondant à la plus grande lumière. On divise l'intervalle en 100 parties égales, et l'on a des degrés *actinométriques* toujours comparables.

ACTINOMÉTRIQUE (Pile). — (V. PILE.)

Æpius (Fr.-Ulrich-Théodore), physicien allemand, né à Rostock en 1724, mort en Livonie en 1802. Il enseigna la physique à Saint-Petersbourg et se fit connaître par ses beaux travaux sur l'électricité. On le regarde comme le véritable inventeur du CONDENSATEUR ÉLECTRIQUE et de l'ÉLECTROPHORE.

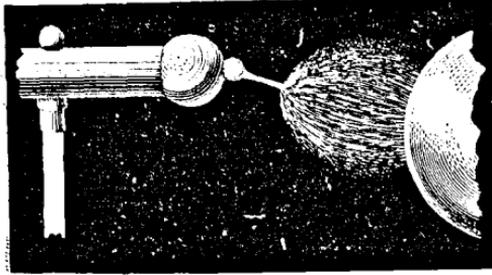
AÉROSTAT ÉLECTRIQUE. — Aérostat dirigeable à l'aide d'une machine à hélice empruntant sa force motrice à l'électricité. Le premier aérostat de ce genre a été exécuté en 1833 par MM. Tissandier frères, qui ont fait à cette époque une première ascension. Un deuxième essai a été fait avec quelque succès en 1884. La même année, MM. Renard et Krebs ont exécuté avec un aérostat dirigeable par l'électricité des ascensions dont la relation a été présentée à l'Académie des sciences par M. Hervé Mangon. D'après ce savant, « le problème de la direction des ballons est aujourd'hui pratiquement résolu ». Les détails de construction de l'aérostat des capitaines Renard et Krebs n'ont pas été publiés. Ces études sont poursuivies sous les auspices du ministère de la Guerre.

AGOMÈTRE. — Appareil destiné à mesurer les conductibilités ou les résistances; synonyme de DIAGOMÈTRE. (V. ce mot.)

AIGRETTE LUMINEUSE. — On appelle aigrette lumineuse un faisceau de rayons lumineux, divergents entre eux, qu'on aperçoit aux pointes et aux extrémités anguleuses des corps électrisés. On ne les observe que dans l'obscurité. Elles sont généralement formées d'une branche rectiligne assez brillante qui, à partir d'un certain point, se divise brusquement en un grand nombre de rameaux d'une teinte violacée beaucoup moins vive.

On obtient de très belles aigrettes en plaçant dans le voisinage d'une machine électrique un conducteur isolé offrant une grande surface.

Il est à remarquer que les aigrettes affectent une forme différente suivant qu'elles sont dues à un écoulement d'électricité positive ou négative. Les aigrettes dues à l'électricité positive s'épanouissent bien plus que les autres. Ainsi, dans la MACHINE DE HOLTZ, les dents du peigne négatif sont terminées par des étoilles



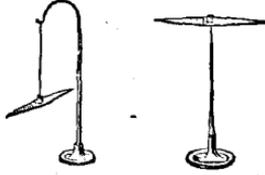
Aigrette lumineuse.

brillantes, tandis que le peigne positif laisse échapper une nappe de feu violacée.

La manifestation des aigrettes est toujours accompagnée d'un bruit sourd, ce qui suffirait à démontrer leur discontinuité, phénomène qu'on a vérifié avec le miroir tournant de Wheatstone.

Ce qui distingue l'aigrette de l'ÉTINCELLE, c'est que l'aigrette ne laisse échapper qu'une faible fraction de l'électricité du conducteur. D'ailleurs les unes et les autres se produisent à la même distance, et la transformation des aigrettes en une succession d'étincelles paraît ne dépendre que de l'augmentation du débit de la machine ou de la CAPACITÉ des conducteurs, et non de l'accroissement des différences de POTENTIEL.

AIGUILLE AIMANTÉE. — On donne le nom d'aiguille aimantée à une petite lame mince d'acier aimanté, ordinairement taillée en losange très allongé. Une telle aiguille, posée sur un pivot ou suspendue



Aiguilles aimantées.

par son centre de figure et mobile dans un plan horizontal prend toujours dans ce plan une direction déterminée qui est à peu près celle du nord au sud; si on l'en écarte, elle y revient, oscille de part et d'autre, puis à la fin s'y arrête de nouveau; si on la retourne de manière à placer au sud l'extrémité qui regarde le nord, elle ne conserve pas cette nouvelle position, elle décrit une demi-circonférence entière, oscille, et finit par reprendre sa direction et sa position primi-

tives. Le phénomène se passe comme si la terre était un vaste aimant dont les pôles seraient voisins des pôles terrestres et dont la ligne neutre coïnciderait sensiblement avec l'équateur. (V. AIMANT, MAGNÉTISME.) On appelle *pôle austral* de l'aiguille aimantée celle de ses extrémités qui regarde le nord, et *pôle boreal* celle qui regarde le sud.

Ainsi, tandis qu'une aiguille non aimantée manifeste la plus parfaite indifférence pour les quatre points cardinaux, l'aiguille aimantée horizontale présente cette propriété remarquable de reconnaître en quelque sorte les pôles terrestres et de nous les indiquer. (V. BOUSSOLE.) Autrefois, on admettait que la direction de l'aiguille aimantée était rigoureusement celle du sud au nord; mais Christophe Colomb en 1492, lorsqu'il traversa l'Océan pour aller à la découverte du nouveau monde, signala cette erreur, et l'on sait maintenant qu'il n'y a dans chaque hémisphère qu'un très petit nombre de points où l'aiguille marque le vrai nord.

On appelle *méridien magnétique* d'un lieu, le plan vertical qui passe en ce lieu par les deux pôles d'une aiguille aimantée horizontale en équilibre sur son pivot. L'angle plus ou moins grand que forme le méridien magnétique avec le méridien astronomique du lieu s'appelle *déclinaison*. La déclinaison d'un lieu peut être *orientale* ou *occidentale*; elle est dite orientale, si le pôle austral de l'aiguille se porte à l'est du méridien astronomique; elle est dite occidentale si le pôle austral se porte à l'ouest du méridien astronomique.

La déclinaison varie en chaque point du globe d'une manière incessante. Ces variations sont *irrégulières* ou *irrégulières*. Les premières sont *diurnes*, *annuelles* ou *seculaires*. — Dans nos climats, où la déclinaison est occidentale, on voit l'extrémité australe de l'aiguille marcher tous les jours de l'est à l'ouest, depuis le lever du soleil jusqu'à une heure après midi. Elle retourne ensuite vers l'est par un mouvement rétrograde, de manière à reprendre à peu près vers dix heures du soir la position qu'elle occupait le matin. Ces variations, qu'on appelle *diurnes*, sont à peu près constantes d'un jour à un autre jour voisin, dans un même lieu; elles sont dans nos contrées de $12''$ à $13''$ en moyenne. — Les variations *annuelles* ont été signalées par Cassini, qui a observé, en 1781, que de l'équinoxe du printemps au solstice d'été l'aiguille à Paris rétrogradait vers l'est, et qu'au contraire elle avançait vers l'ouest dans les neuf mois suivants. Le maximum d'amplitude observé pendant la même année a été de $20''$. — Si l'on évalue en un lieu la déclinaison moyenne de l'année, et si l'on compare entre elles les moyennes de plusieurs années successives, on constate des variations qui ont reçu le nom de variations *seculaires*. Des observations faites à Paris depuis l'année 1580 ont conduit aux résultats suivants: en 1580, la déclinaison était orientale et égale à $11^{\circ} 30'$; la déclinaison moyenne annuelle a été en diminuant depuis cette époque jusqu'en 1663, où elle est devenue d'abord nulle, puis occidentale et toujours croissante jusqu'en 1814; en 1814, elle a atteint un maximum de $22^{\circ} 34'$, et depuis lors est entrée dans une période décroissante; en 1860, elle était de $19^{\circ} 33'$; au 1^{er} janvier 1879, de $15^{\circ} 56'$. Les variations irrégulières ou accidentelles de la déclinaison sont de véritables perturbations qui

surviennent brusquement dans les mouvements de l'aiguille aimantée, sans qu'il soit possible d'en prévoir l'époque ni la grandeur. Arago a remarqué le premier qu'elles coïncident généralement avec l'apparition d'AURORES BORÉALES, soit en des points voisins, soit en des points très éloignés.

Les instruments au moyen desquels on détermine les déclinaisons s'appellent *BOUSSOLES DE DÉCLINAISON*.

Non seulement l'aiguille aimantée s'écarte dans sa direction de la ligne des pôles terrestres, mais elle présente encore un autre phénomène : au lieu de se tenir dans une position horizontale, elle incline l'un de ses pôles vers la terre d'un angle variable selon les lieux, et qu'on appelle *inclinaison*. Lorsqu'on s'avance vers l'équateur terrestre, on voit l'inclinaison diminuer de plus en plus, et l'on trouve enfin un point où elle devient nulle; puis, si l'on passe au delà, c'est le pôle boréal qui s'abaisse au-dessous de l'horizon, et qui s'abaisse de plus en plus à mesure que la latitude australe augmente. On a nommé *équateur magnétique* la courbe qui passe par tous les points où l'inclinaison est nulle, et *pôles magnétiques* les points où l'inclinaison est de 90°, c'est-à-dire où l'aiguille devient verticale comme le fil à plomb. L'équateur magnétique est une courbe irrégulière qui s'éloigne notablement de la forme d'un grand cercle, et qui coupe l'équateur terrestre en deux points, situés à peu près aux extrémités d'un même diamètre. Les pôles magnétiques ne coïncident pas avec les pôles géographiques; ils ne sont pas même situés aux extrémités d'un même diamètre du globe : l'un est à 15° du pôle nord, l'autre à 13° du pôle sud.

L'inclinaison éprouve des variations semblables à celles de la déclinaison, mais l'amplitude en est toujours moins considérable. Pour un même jour, l'inclinaison est maxima dans la matinée, minima dans l'après-midi. Dans une même année, elle est maxima en été, minima en hiver. Enfin, l'inclinaison moyenne varie, dans un même lieu, d'une année à une autre. En 1671, elle était à Paris de 75°. Depuis elle a toujours été en décroissant : le 11 novembre 1860 elle était de 66° 11', et le 1er janvier 1879, de 65° 32'. La diminution annuelle de l'inclinaison est sensiblement de 3'.

Les instruments qui servent à déterminer l'inclinaison magnétique s'appellent *BOUSSOLES D'INCLINAISON*.

La connaissance de la déclinaison et de l'inclinaison pour les différents points du globe n'est pas seulement importante au point de vue de l'étude du magnétisme terrestre (V. MAGNÉTOMÈTRE); elle est à chaque instant nécessaire dans les opérations qui se rattachent à une mesure géographique quelconque.

Une aiguille aimantée soustraite à l'action magnétique de la terre est dite *ASTATIQUE*. Telle serait une aiguille mobile autour d'un axe horizontal dans un plan vertical perpendiculaire au méridien magnétique; on comprend que l'aimant terrestre, agissant alors suivant l'axe, ne peut imprimer à l'aiguille aucune direction déterminée. Deux aiguilles d. même force réunies parallèlement, les pôles contraires en regard, constituent un *système astatique*, parce que les actions contraires du globe sur les deux aiguilles se neutralisent.

AGUILLE POUR ELECTROLYSE. — Appareil employé pour la CAUTÉRISATION GALVANO-CAUSTIQUE chimique et la GALVANO-PUNCTURE. (V. ELECTRICITÉ MÉDICALE.)

AIMANT. — Nom générique donné à toute substance qui possède naturellement, ou qui a reçu, par divers procédés, la propriété d'attirer le fer. — *Aimant na-*

turel, Oxyde de fer jouissant naturellement de la force magnétique. — *Aimant artificiel*, Substance à laquelle la force magnétique a été communiquée artificiellement. — *Aimant terrestre*, Se dit de la terre considérée comme un vaste aimant. — *Aimant de Ceylan*, Nom donné à la tourmaline, à cause de la propriété attractive qu'elle acquiert par la chaleur.

Nourrir un aimant. — Augmenter sa force en le chargeant graduellement de poids.

Aimant naturel. — L'aimant ou *Pierre d'aimant*, désigné en minéralogie sous le nom de *fer oxydulé*, *fer oxydé magnétique*, est une substance d'un éclat métallique très prononcé, dont la couleur, dans la cassure fraîche, varie du noir de fer au gris d'acier bleuâtre. Il possède la propriété d'attirer le fer et quelques autres métaux, comme le nickel, le cobalt, le chrome, etc. Sa cassure, souvent inégale, est lamellaire, écailleuse, conchoïde ou grenue. Sa cristallisation se rapporte au système cubique; les cristaux sont tantôt des octaèdres simples ou modifiés, quelquefois des dodécèdres rhomboïdaux (fig. 1). — L'aimant est composé de trois équivalents de fer et de quatre équivalents d'oxygène (Fe³O₄), et, par conséquent, sa formule représente la réunion d'une molécule de protoxyde (Fe O) et d'une molécule de sesquioxyde de fer (Fe³O₃); aussi doit-on le considérer comme une véritable combinaison saline. En cette qualité, il ne peut former de sels particuliers; dissous par les acides et évaporé, il produira toujours un mélange de sels de protoxyde et de sels de sesquioxyde. — L'aimant est très abondamment répandu à la surface du globe, où il affecte des gisements très variés. On le trouve principalement en Suède, en Norvège et aux Etats-Unis. Il joue un rôle très important dans les arts métallurgiques; c'est de tous les minerais de fer celui qui contient la plus grande quantité de ce métal. Dans la plupart des lieux où on l'exploite, il a une pureté très grande et rend plus de 60 % au haut fourneau; il donne partout la meilleure qualité de fer connue. — L'aimant est, depuis un temps immémorial, connu des Chinois, qui l'appellent *tsu-chy* (qui aime), mot dont le français *aimant* semble la traduction. Les Grecs, qui l'avaient d'abord trouvé dans les environs d'une ville de l'Asie Mineure nommée Magnésie, le désignaient sous le nom de *mag-nès* : de là notre mot *magnétisme*. D'autres attribuent ce nom à un berger nommé Magnès, qui en aurait fait le premier la découverte.



Fig. 1. — Aimant naturel.

Aimant artificiel. — Les aimants artificiels sont des barreaux ou des aiguilles d'acier trempé qui ne



Fig. 2. — Barreau aimanté.

possèdent pas naturellement les propriétés des aimants naturels, mais qui les ont acquises par divers procédés (fig. 2). Les aimants artificiels sont plus puissants en général que les aimants naturels; ils sont aussi plus commodes, parce qu'on peut leur donner les formes et les dimensions que l'on désire; aussi sont-ils à peu près les seuls employés.

Force magnétique. — La force attractive des aimants a reçu le nom de *force magnétique*, et la théorie physique de ces phénomènes particuliers d'attraction, celui de *magnétisme*. On nomme *substances magnétiques* celles qui sont attirables par l'aimant. L'attraction de l'aimant et du fer est réciproque, c'est-à-dire que le fer attire l'aimant comme l'aimant attire le fer : cette réciprocity est d'ailleurs une loi générale de toutes les attractions.

Des expériences précises ont montré que les aimants agissent non seulement sur le fer, mais aussi sur tous les corps de la nature; tous ne sont pas attirés par les aimants, certains sont repoussés. (V. MAGNÉTISME ET DIAMAGNÉTISME.)

La force magnétique s'exerce à distance, soit dans le vide, soit, au travers des substances non magnétiques. Elle varie avec la température. Si l'élevation de température est très petite, l'intensité magnétique ne subit qu'une diminution passagère et d'ailleurs très faible. Si l'on élève davantage la température, la diminution de l'intensité magnétique est permanente, même après le refroidissement. Coulomb a montré que cette diminution est d'autant plus grande que la température a été plus élevée. Enfin, à la température rouge, les aimants perdent complètement leur force magnétique. Indépendamment de cette action sur les aimants, la chaleur en exerce une autre non moins remarquable sur les substances magnétiques : chauffées à une certaine température, qui varie selon les différents corps, elles deviennent insensibles aux aimants, elles cessent d'être attirées. En perdant sa force magnétique par la chaleur, un aimant ne perd rien de son poids; en acquérant la force magnétique, un barreau d'acier ne devient pas plus pesant; on en a conclu que les propriétés des aimants ne dépendent pas de la matière pondérable qui les constitue, mais d'un fluide impondérable, auquel on a donné le nom de *fluide magnétique*. (V. MAGNÉTISME ET FLUIDE.)

Polarité magnétique. — Les aimants ne possèdent pas dans toutes leurs parties une égale force magnétique. Si l'on roule un aimant dans la limaille de fer, on voit cette limaille s'attacher en grande quantité aux extrémités de l'aimant (fig. 3). Mais la quantité



Fig. 3. — Barreau aimanté et ligne neutre.

de limaille attirée diminue à mesure qu'on s'approche de la ligne médiane *n*, où elle disparaît complètement. Ainsi la force magnétique, nulle dans la région moyenne d'un aimant, se trouve concentrée à ses extrémités. La partie *n* de la surface de l'aimant où la force magnétique est insensible a reçu le nom de *ligne neutre*, et les deux points extrêmes A et B, qui paraissent agir comme de véritables centres d'attrac-



Fig. 4. — Points conséquents.

tion, celui de *pôles*. Tout aimant naturel ou artificiel présente deux pôles et une ligne neutre; il arrive parfois que, dans les barreaux mal aimantés, ou dans les aimants naturels, on observe, outre les pôles extrêmes, d'autres centres d'attraction séparés les uns des autres par des régions inactives (fig. 4) : ces pôles intermé-

diaires, *p*, *p*, se nomment *points conséquents*. Si l'on coupe un aimant suivant sa ligne neutre, on voit dans chaque moitié reparaître vers le milieu une ligne neutre qui sépare deux pôles ayant à peu près la même force; puis cette moitié, encore subdivisée, reproduit une nouvelle ligne neutre et deux pôles, et ainsi de suite; si bien qu'un tout fragment, toute parcelle d'un aimant se montre toujours avec un ligne neutre et deux pôles.

D'après Ampère, chaque molécule d'un corps magnétique est un véritable aimant dont les pôles extrêmement voisins n'ont qu'une action insensible sur un point extérieur. Mais, sous l'influence d'une cause étrangère, telle que la présence d'un aimant, toutes ces molécules peuvent s'orienter dans une même direction et leurs actions s'additionner. C'est ainsi qu'on se produit le phénomène dit *d'aimantation*.

Il est à remarquer que cette orientation ne peut être déterminée sans une certaine dépense d'énergie qui se traduit soit par une dépense de travail mécanique, soit par l'échauffement que l'on constate dans tout corps que l'on aimante, soit par les *EXTRA-COURANTS* produits par ce phénomène, lorsque l'aimantation est déterminée par un courant électrique.

L'échauffement peut être attribué aux *COURANTS DE ROUCAULT* qui doivent se produire dans de certaines circonstances. Quant aux *EXTRA-COURANTS*, si l'on opère sur une masse de fer doux, l'*EXTRA-COURANT DE RUPTURE* pourra fournir une quantité d'énergie égale à celle absorbée par l'*EXTRA-COURANT DE FERMETURE*, si bien qu'un électro-aimant peut être considéré comme un véritable accumulateur d'énergie.

Si l'on opère sur une masse d'acier, l'*EXTRA-COURANT* de rupture ne se manifestera plus, ou du moins sera plus faible, mais l'énergie dépensée pour l'aimantation résidera dans l'aimant à l'état *d'énergie potentielle*.

Les aimants n'agissent pas seulement sur les substances magnétiques comme le fer, le nickel; ils agissent aussi les uns sur les autres. Mais, tandis que dans le premier cas l'action est toujours attractive, dans le second elle est tantôt attractive, tantôt répulsive. Les substances magnétiques sont attirées également par les deux pôles d'un aimant; il est facile de voir, au contraire, que le même pôle d'un aimant mobile auquel on présente successivement les deux pôles d'un aimant fixe, est attiré par l'un de ces pôles et repoussé par l'autre. On appelle *pôles semblables*, *pôles de même nom*, tous les pôles de divers aimants fixes, qui agissent de la même manière sur le pôle de l'aimant mobile choisi pour l'expérience; ainsi tous les pôles qui l'attirent sont semblables, sont de même nom entre eux, on les marque d'une même lettre A; tous les pôles qui le repoussent sont aussi de même nom entre eux, on les marque d'une même lettre B; mais les pôles A, comparés aux pôles B, sont *dissimilaires*, sont de *nom contraire*. Or, si l'on fait agir deux pôles A l'un sur l'autre, on trouve toujours une action repulsive; il en est de même si l'on fait agir l'un sur l'autre deux pôles B : donc les pôles semblables, les pôles de même nom se repoussent. Mais si l'on fait agir l'un sur l'autre deux pôles A et B, ils s'attirent toujours : donc les pôles dissimilaires, les pôles de nom contraire s'attirent. Ainsi la ligne neutre d'un aimant le sépare en deux régions qui contiennent des forces opposées, bien qu'elles semblent agir de la même manière sur le fer.

Cet antagonisme des pôles se révèle encore dans l'action exercée par la terre sur les aimants. Un aimant qui peut se mouvoir dans un plan horizontal, autour de son milieu, a la propriété remarquable de prendre une position déterminée et constante. Un de ses pôles se tourne constamment vers le pôle boréal

de la terre, vers le nord, l'autre vers le pôle austral, vers le sud. On constate que ce sont toujours des pôles semblables, des pôles de même nom qui se dirigent vers le même pôle de la terre. Ainsi l'action de la terre sur les aimants peut être considérée comme celle d'un vaste aimant orienté à peu près du nord au sud, et qui agit en attirant vers chacun de ses pôles le pôle contraire de chaque aimant. On appelle *pôle austral* de l'aimant celui qui se tourne vers le pôle boreal de la terre, et *pôle boreal* de l'aimant celui qui se tourne vers le pôle austral de la terre. (V. AIGUILLE AIMANTÉE.)

L'action réciproque des pôles de deux aimants, action attractive ou répulsive, selon que ces pôles sont de nom contraire ou de même nom, a conduit à admettre, comme pour l'explication des attractions et répulsions électriques, l'existence de deux fluides magnétiques que l'on a appelés, l'un *boreal* et l'autre *austral*. On a supposé que l'activité magnétique résulte de la séparation de ces fluides, et la neutralité magnétique de leur combinaison. (V. MAGNÉTISME.)

Coulomb a démontré que les attractions et les répulsions magnétiques s'exercent en raison inverse du carré de la distance. Une des méthodes dont il a fait usage pour établir cette loi fondamentale consiste à faire osciller une aiguille aimantée pendant des temps égaux, d'abord sous l'influence seule de la terre, puis sous l'influence combinée de la terre et du pôle attractif d'un aimant placé successivement à des distances inégales. Des très nombreux d'oscillations trouvées on déduit, par un calcul très simple, la loi de Coulomb.

Modes d'aimantation. — Si l'on met un morceau de fer en contact avec un pôle d'un aimant, ce morceau de fer devient aussitôt un aimant complet qui présente deux pôles et une ligne neutre, entre la limaille et peut à son tour aimanter par contact un autre morceau de fer. Cette aimantation par simple rapprochement s'appelle *aimantation par influence*. Mais sitôt qu'on fait cesser le contact, l'aimantation par influence cesse, le fer redevient inerte et sans aucune action magnétique. L'acier résiste beaucoup plus que le fer à l'influence magnétique; l'aimantation s'y développe lentement; mais, une fois développée, elle persiste lors même qu'on éloigne l'aimant qui la produit. Cette résistance à l'influence des aimants et cette persistance de la force magnétique après l'aimantation paraissent liés l'une à l'autre; on les a attribués à une même cause, que l'on a appelée *force coercitive*. Cette force coercitive s'opposerait à la séparation des deux fluides magnétiques lorsqu'ils sont combinés, et à leur combinaison lorsqu'ils sont séparés.

Quand on a aimanté fortement un morceau d'acier, il ne conserve pas toute l'énergie magnétique qui lui a été communiquée. Cette énergie, mesurée par le poids de la quantité de limaille de fer qu'il peut soutenir à un de ses pôles malgré l'action de la pesanteur, diminue assez rapidement pour rester ensuite sensiblement constante. Ainsi il y a pour un aimant artificiel une limite à la quantité de magnétisme qu'il peut, en vertu de sa force coercitive, conserver après l'aimantation. Un aimant artificiel qui a atteint son état stationnaire par une perte de magnétisme surabondant est aimanté à *saturation*; et, en effet, quelques énergiques que soient les procédés par lesquels on essaye de lui communiquer un surcroît de vertu magnétique, ce surcroît ne saurait être permanent.

La force coercitive que possède un barreau dépend de sa nature et de la trempe qu'il a subie; elle augmente avec son degré d'acieration et avec la dureté de la trempe. Or, il importe que cette force coercitive

ne soit ni trop faible ni trop intense; trop faible, elle diminuerait trop l'énergie magnétique permanente de l'aimant artificiel; trop forte, elle résisterait aux méthodes d'aimantation les plus puissantes, ou donnerait lieu à la formation de points consécutifs.

Les corps susceptibles d'aimantation peuvent être aimantés : 1^o par contact ou par friction avec un aimant; 2^o par l'action de la terre; 3^o par l'électricité. Nous ne parlerons pas ici de l'aimantation par l'électricité. (V. ÉLECTRO-MAGNÉTISME.)

La force attractive d'un aimant artificiel dépend bien plus de la composition chimique et de la constitution moléculaire de l'acier employé à sa construction que de la méthode suivie pour l'aimanter. Actuellement on emploie deux méthodes pour donner à l'acier la constitution moléculaire la plus avantageuse au point de vue de la permanence de l'aimantation :

1^o On peut tremper l'acier suivant les procédés ordinaires;

2^o On peut tremper l'acier par compression, suivant la méthode imaginée par M. Clémendot.

L'acier est porté au rouge cerise et comprimé à l'aide d'une presse hydraulique. La pression est généralement de 29 à 30 kilogrammes par millimètre carré. Outre la force coercitive que la compression donne à l'acier, elle lui communique encore une plus grande résistance sans qu'il en résulte une diminution dans son élasticité.

La découverte de M. Clémendot est susceptible de nombreuses applications.

Les aciers qui donnent les meilleurs résultats pour la fabrication des aimants sont ceux d'Allevard; on attribue à une certaine proportion de tungstène la force coercitive remarquable que possède cet acier.

On a constitué dans ces dernières années des aimants artificiels en nickel et en cobalt qui ont une puissance comparable à celle des aimants fabriqués avec les meilleurs aciers. Des spécimens de ce genre sont exposés au Conservatoire national des arts et métiers de Paris.

Procédés d'aimantation de l'acier par le contact des aimants.

— L'aimantation de l'acier se fait par trois procédés : celui de la *simple touche*, celui de la *double touche*, et celui de la *double touche*.

Le procédé d'aimantation par simple touche consiste à frotter perpendiculairement l'objet qu'on veut aimanter, une aiguille d'acier, par exemple, sur l'extrémité d'un aimant puissant, en ayant soin de la faire glisser toujours suivant sa longueur et dans le même sens. Ce procédé fournit une aimantation assez régulière, mais peu énergique, et n'est applicable qu'aux aiguilles ou aux barreaux de petite dimension.

Le procédé de la *double touche* (Fig. 5), indiqué par Duhamel, donne l'aimantation la plus



Fig. 5. — Méthode de la double touche.

régulière; c'est celui qu'on emploie de préférence à tout autre pour aimanter les aiguilles des boussoles. On fixe solidement sur un plan horizontal deux aimants puissants AB, A'B', qu'on sépare par une règle de bois D de même épaisseur : au-dessus on place la lame à aimanter ab, de manière que ses

deux extrémités soient en présence de deux pôles contraires A et B'. On prend ensuite dans chaque main un barreau aimanté, on appuie ces deux barreaux sur le milieu de la lame, en plaçant le pôle austral a' de l'un d'eux du même côté que le pôle austral A de l'un des aimants fixes; le pôle boreal b'' du même côté que le pôle boreal B; enfin, après les avoir inclinés de manière que leurs directions fassent avec chacune des moitiés de la lame des angles de 30° environ, on les fait glisser en même temps en sens contraire, l'un sur une moitié, l'autre sur l'autre, l'un vers l'extrémité a, l'autre vers l'extrémité A. Ce mouvement terminé, on enlève les deux barreaux en même temps, on les reporte au milieu de la lame, et on recommence l'opération un certain nombre de fois.

Dans le procédé de la touche séparée, les aimants mobiles agissent isolément. Il n'en est pas de même dans le procédé de la double touche (fig. 6); les deux pôles contraires, a', b'', constamment séparés par une

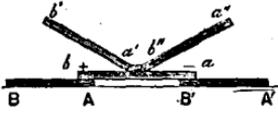


Fig. 6. — Méthode de la double touche.

petite cale de bois, forment un système unique; on les fait glisser ensemble et d'un mouvement régulier vers l'extrémité a, puis de cette extrémité vers l'autre b, et ainsi de suite. Cette méthode, imaginée par Mitchell et perfectionnée par Epinus, donne des aimants plus puissants, mais moins réguliers que la précédente.

Toutes ces méthodes d'aimantation ont été suggérées plutôt par l'expérience que par la théorie; il est même difficile de se rendre complètement compte de l'utilité de certaines dispositions que la pratique de ces procédés a seule indiquées. Aujourd'hui on substitue avec avantage à ces méthodes l'emploi de l'électro-aimant.

Aimantation par l'action de la terre.

— L'action magnétique de la terre suffit pour développer dans le fer doux une aimantation passagère, et dans l'acier une aimantation durable. Une barre de fer maintenue dans la direction de l'aiguille d'inclinaison s'aimante par influence. Des barreaux d'acier qui ont conservé longtemps cette même direction acquièrent, surtout lorsqu'ils sont soumis à des frottements ou à des chocs répétés, une aimantation sensible, quelquefois même énergique, aimantation qui persiste indéfiniment, quand la trempe leur a donné une force coercitive suffisante. C'est ainsi qu'on peut s'expliquer comment les limes et tous les outils d'acier donnent souvent des signes d'aimantation très manifestes. On ne peut guère douter que les aimants naturels ne doivent leur origine à l'action prolongée de l'aimant terrestre.

Propriétés générales des aimants naturels ou artificiels. — Entre les deux pôles d'un aimant existe toujours une certaine région dépourvue de toute propriété magnétique. C'est ce que l'on appelle l'ESPACE NEUTRE. Son étendue peut varier avec la disposition ou la forme du système magnétique. Ainsi deux aimants également aimantés dont les pôles de noms contraires sont mis en contact paraissent dépourvus de magnétisme.

Dans les aimants ordinaires, le magnétisme n'affecte

que les couches voisines de la surface. Si l'on vient à les dissoudre par l'action d'un acide, comme l'a fait M. Jamin, toute trace de magnétisme disparaît.

M. Jamin a même pu superposer plusieurs couches de magnétisme de sens opposés dans un même barreau, en les faisant pénétrer plus ou moins profondément. Au fur et à mesure que l'on dissolvait le métal, elles se manifestaient successivement.

On sait qu'un barreau d'acier ne conserve son aimantation que s'il a été fortement trempé. Les forces inhérentes qui s'exercent entre les molécules paraissent gagner en intensité, puisqu'une fois les molécules orientées elles ne peuvent revenir que difficilement à leurs positions premières.

On pouvait donc prévoir qu'un barreau d'acier trempé s'aimanterait moins aisément qu'un barreau de fer doux, mais qu'en même temps toute action mécanique extérieure qui tendrait à déplacer les molécules du corps les unes par rapport aux autres faciliterait l'aimantation. L'expérience a démontré qu'il en est ainsi, et que la tension et la percussion rendent plus rapide l'aimantation d'un barreau. (Voir à ce sujet les travaux de Matteucci, Ganguin, Delarive, Wiedemann.)

Eulu, Wertheim a constaté que l'aimantation diminue l'élasticité des corps. Elle augmente leur résistance à la torsion et, d'après Joule, leurs dimensions longitudinales.

Telles sont les propriétés générales des aimants naturels ou artificiels.

Étude théorique du magnétisme.

— Nous allons étudier maintenant le magnétisme proprement dit comme une nouvelle grandeur mécanique, qu'il s'agit de mesurer, et dont il faut calculer les effets.

DES DÉFINITIONS.

I. Quantité de magnétisme. — L'expérience montre que deux pôles d'aimants de noms contraires s'attirent et que deux pôles de mêmes noms se repoussent.

Coulomb étudia ces phénomènes avec sa BALANCE DE TORSION et montra que les attractions ou répulsions sont proportionnelles à deux facteurs μ et μ' particuliers à chaque pôle, mais constants pour chacun d'eux, et inversement proportionnelles au carré de la distance a de ces points; de sorte qu'en désignant par K un coefficient dépendant de la nature des unités choisies, la force f qui s'exerce entre deux pôles peut être exprimée par la formule

$$f = \frac{K \mu \mu'}{a^2}$$

Si l'on convient de donner le signe + au coefficient μ qui correspond à un pôle positif, et le signe — à celui qui correspond à un pôle négatif; si de plus on connaît les valeurs de ces coefficients relatives à des pôles quelconques, et la valeur de la constante K , on pourra déterminer *a priori* la grandeur et le sens de l'action qui s'exercera entre deux pôles quelconques.

Par définition, nous dirons que l'attraction ou la répulsion qui s'exerce entre deux pôles quelconques est proportionnelle au produit des quantités de magnétisme de ces deux pôles prises avec leurs signes. Ces quantités auront donc pour mesures les coefficients μ . Nous ne faisons ainsi que traduire un résultat d'expérience, sans faire aucune hypothèse sur la nature du magnétisme.

L'expérience démontre que la somme algébrique des quantités de magnétisme d'un barreau quelconque est toujours nulle. On peut vérifier ce fait en particulier avec la balance de Coulomb.

II. **Unité de quantité de magnétisme.** — L'unité de quantité de magnétisme positif est celle qui repousserait une égale quantité de magnétisme semblable située à l'unité de distance avec une force égale à l'unité.

III. **Champ et intensité de champ magnétiques.** (Voir ce mot). — On appelle *champ magnétique* tout espace soumis à une action magnétique.

De même qu'en mécanique on peut supposer toute la masse d'un corps concentrée en un point lorsqu'on n'a que des forces parallèles à considérer, de même, si un champ magnétique est constitué de telle sorte que les directions des forces attractives ou répulsives exercées sur un aimant quelconque soient parallèles, on pourra supposer que toutes les masses magnétiques de cet aimant sont concentrées en deux points qui ne sont autres que ses pôles.

On dit qu'un pôle est *égal à l'unité* lorsque la quantité de magnétisme qui y serait ainsi concentrée serait elle-même égale à l'unité.

L'intensité d'un champ magnétique en un point est la grandeur de la force qui agirait sur un pôle magnétique égal à l'unité et situé en ce point.

L'unité d'intensité de champ magnétique est celle du champ qui produirait l'unité de force sur l'unité de pôle ou de quantité magnétique.

IV. **Potentiel magnétique.** — La loi des attractions et répulsions magnétiques est identique à celle des attractions et répulsions électriques. On peut donc appliquer aux phénomènes magnétiques la théorie du POTENTIEL.

Considérons un point m situé dans un champ magnétique; soient p_1, p_2, p_3, \dots les masses qui constituent ce champ, r_1, r_2, r_3, \dots leurs distances au point m . Si l'on suppose toutes les masses concentrées en leurs pôles, la valeur U du potentiel au point m sera :

$$U = \sum \frac{p}{r} = \frac{p_1}{r_1} + \frac{p_2}{r_2} + \frac{p_3}{r_3} + \dots$$

De même que pour l'électricité, on peut définir le POTENTIEL magnétique en un point comme étant :

La quantité de travail que développerait l'unité de quantité magnétique en se transportant de ce point à l'infini sous l'influence des seules forces magnétiques.

L'unité de potentiel se déduit immédiatement de cette définition, en supposant le travail développé égal à l'unité. On dira : Le potentiel en un point serait égal à l'unité si le travail qu'effectuerait l'unité de pôle supposée concentrée en ce point, en s'éloignant à l'infini sous l'influence des seules forces magnétiques, était égal à l'unité de travail.

Surfaces de niveau. — On désigne ainsi l'ensemble des points de l'espace pour lesquels le potentiel magnétique est constant.

Lignes de force. — Ce sont les orthogonales aux surfaces de niveau.

Par un point de l'espace il ne passe qu'une seule ligne de force, de même qu'une seule surface de niveau.

La tangente à une ligne de force donne en chaque point la direction de la force magnétique; cette direction est celle que prendrait un petit aimant libre de tourner autour de son centre. (V. POTENTIEL.)

V. **Champ magnétique uniforme.** — On désigne ainsi une portion limitée de l'espace, à l'intérieur de laquelle les lignes de force sont parallèles. Dans ce cas, et comme on le démontre en géométrie, les lignes de force sont nécessairement des droites, et les surfaces de niveau des plans normaux à ces droites et parallèles entre eux.

A l'intérieur de ce champ, la force magnétique et,

par suite, l'intensité du champ demeurent constantes.

Un espace limité soumis à la seule action de la terre donne l'exemple d'un champ magnétique uniforme. En effet, si on mesure la direction de cette force au moyen des boussoles d'inclinaison et de déclinaison, ainsi que son intensité par les méthodes que nous décrirons plus loin, on constate que cette direction et cette intensité demeurent constantes dans un espace environnant très grand par rapport à nous ou à nos appareils.

VI. **Moment magnétique.** — Un champ magnétique uniforme produit sur les pôles d'un barreau régulièrement aimanté, c'est-à-dire qui n'offre pas de points conséquents, deux forces égales et de signes contraires déterminant un couple qui tend à orienter le barreau parallèlement aux lignes de force du champ.

Si le barreau est placé dans ce champ normalement aux lignes de force, le couple aura pour expression, en désignant par F la force qui agit sur chacun des pôles et $2l$ leur distance : $2Fl$.

La force F est égale au produit de l'intensité des pôles p par celle du champ h .

Le couple développé a donc pour expression $2plh$.

On appelle *moment magnétique* d'un barreau le couple qui est développé sur lui lorsqu'il est situé dans un champ magnétique uniforme et d'intensité égale à l'unité, perpendiculairement à la direction des lignes de force. L'unité de moment magnétique est le moment magnétique d'un aimant dont les deux pôles auraient l'unité d'intensité magnétique et qui seraient distants l'un de l'autre de l'unité de longueur.

Si l'on brise un aimant en plusieurs morceaux, on trouve que la somme des moments des nouveaux barreaux est égale au moment du barreau primitif.

VII. **Intensité d'aimantation.** — On appelle ainsi le rapport du moment magnétique d'un barreau à son volume.

Supposons qu'on décompose un barreau en une infinité de barreaux infiniment petits; chacun de ces éléments aura une intensité d'aimantation déterminée.

L'intensité d'aimantation d'un barreau on un de ses points sera celle de l'élément situé en ce point.

L'unité d'intensité d'aimantation est l'intensité d'aimantation d'une substance qui occuperait l'unité de volume et aurait un moment magnétique égal à l'unité.

2° PROBLÈMES RELATIFS AUX AIMANTS.

Les principaux problèmes à résoudre dans l'étude du magnétisme sont les suivants :

- 1° Déterminer l'intensité de magnétisation d'un corps aimanté;
- 2° Déterminer l'intensité de magnétisation en chaque point d'un aimant;
- 3° Déterminer l'intensité d'un champ magnétique en chacun de ses points.

Les équations différentielles relatives à ces problèmes ont été posées, mais jusqu'ici n'ont pu être résolues que dans un petit nombre de cas simples. (Voir l'ouvrage de MM. Mascart et Joubert.)

Nous nous bornerons à indiquer les méthodes qui permettent de les résoudre expérimentalement et à donner les résultats obtenus.

I. **Intensité de magnétisation.** — Le problème revient à déterminer le moment magnétique du barreau que l'on étudie.

Supposons connue l'intensité du champ magnétique terrestre au lieu où l'on opère; il suffira de suspendre le barreau par son centre, de le laisser osciller hori-

mentalement, et de compter le nombre d'oscillations à la seconde.

On peut considérer le barreau comme un pendule composé; et si nous désignons par $2m r^2$ son moment d'inertie, par F la force qui agit sur chaque pôle, égale au produit de leur magnétisme μ par l'intensité I du champ, et par la longueur $2l$ du barreau, la durée t d'une oscillation simple sera donnée par la formule :

$$t = \sqrt{\frac{2mr^2}{2l\mu F}}$$

d'où l'on tire :

$$2l\mu = \frac{2mr^2}{t^2}$$

La durée d'une oscillation simple étant donnée par l'expérience ainsi que le moment d'inertie, il est facile de calculer le moment magnétique.

L'intensité du champ terrestre, que nous avons supposée connue, peut être déterminée par une méthode due à Gauss et que l'on trouvera indiquée à l'article MAGNÉTISME TERRESTRE.

L'expérience a montré que le moment magnétique d'une longue tige située dans un champ magnétique uniforme est proportionnel à sa longueur l , à sa section s , et à l'intensité du champ h , au moins dans des limites restreintes. Enfin, ce moment dépend d'un certain facteur qui varie avec la substance du barreau.

On peut, dans la plupart des cas, représenter ce moment par la formule Ksl .

Voici, d'après Blavier, les valeurs de K pour quelques substances fortement aimantées :

Fer doux travaillé.....	32,8
Fer fondu.....	23
Acier doux.....	21,5
Acier dur.....	17,4
Nickel.....	15,3

Ces valeurs de K sont purement relatives.

Mais ce coefficient K ne demeure pas constant; il diminue lorsque l'intensité du champ magnétique augmente. On constate que le produit Kh tend vers une limite finie, et quand cette limite est atteinte on dit que le barreau est saturé.

En prenant pour unités le centimètre, le gramme et la seconde, il résulte d'expériences de Joule que la valeur maxima du produit Kh pour le fer doux serait donnée par le nombre 14900.

D'un autre côté, Muller a trouvé qu'un barreau de fer doux se sature dans un champ magnétique environ trois cents fois plus intense que celui de la terre, quo le coefficient K n'est sensiblement constant que lorsque l'intensité de magnétisation ne dépasse pas le quart de sa valeur maxima, et qu'alors on a : $K = 112$.

II. Intensité de magnétisation en chaque point d'un barreau. — Coulomb faisait osciller une très petite aiguille horizontale devant les divers points du barreau placé verticalement dans le plan méridien de l'aiguille. En appelant n et N les nombres d'oscillations effectuées par l'aiguille sous l'influence de la terre seule ou de la terre et du barreau, l'action du barreau sur l'aiguille est proportionnelle à la différence $N - n$.

Coulomb se servait aussi de sa balance de torsion et mesurait la répulsion exercée par chaque point de l'aimant, à une distance constante et très petite, sur le pôle d'une longue aiguille mobile dans un plan perpendiculaire à l'axe du barreau.

M. Jamin plaçait un morceau de fer doux (méthode

du cloin) sur les différents points de l'aimant et déterminait la force nécessaire pour l'en arracher, en se servant de l'appareil qui est représenté et décrit plus loin (v. page 26).

Toutes ces méthodes ne peuvent donner que des résultats approximatifs. La seule exacte consiste à déplacer le long du barreau une petite bobine en relation avec un GALVANOMÈTRE. Quand on passe d'un point à un autre, la quantité d'électricité qui traverse le galvanomètre est proportionnelle à la quantité de magnétisme libre sur la partie de la surface du barreau qu'a recouverte successivement la bobine dans son déplacement.

Les expériences faites n'ont guère porté que sur des barreaux cylindriques. Les résultats sont très exactement représentés par la formule suivante, due à Biot :

$$y = \left[\mu^x - \mu^{2l-x} \right],$$

dans laquelle y est l'intensité de magnétisation en un point situé à une distance x d'une des extrémités, l la longueur du barreau, μ et μ des nombres constants.

III. Intensité d'un champ magnétique en chacun de ses points. — L'espace qui environne un aimant est dans un état particulier caractérisé par la présence de lignes de force. Il suffit, pour définir ce champ magnétique, de connaître la direction et le sens de ces lignes en chaque point, ainsi que l'intensité du champ magnétique de l'espace considéré.

Si l'on projette de la limaille de fer sur une feuille de papier disposée dans le champ magnétique, on voit que cette limaille se dispose suivant une série de lignes courbes dont les deux extrémités aboutissent chacune à l'un des pôles de l'aimant.

L'ensemble de ces lignes constitue ce qu'on appelle des FANTÔMES MAGNÉTIQUES (fig. 7 à 12).

Ainsi la fig. 7 représente le fantôme produit par deux aimants dont les pôles de même nom N sont en regard; la fig. 8 celui produit par les deux mêmes aimants dont les pôles de nom contraire sont en regard; les fig. 9 et 10, les fantômes magnétiques de barreaux aimantés, longs et courts; la fig. 11, le fantôme produit par les deux pôles d'un aimant en fer à cheval, et enfin la fig. 12, celui produit par l'extrémité d'un barreau aimanté.

Pour obtenir ces fantômes, on prend une plaque de verre qu'on place horizontalement au-dessus de l'aimant; on la recouvre d'une couche de solution de gomme arabique et de gélatine, et on tamise au-dessus de la limaille de fer. Quand la figure est bien dessinée, on dirige sur la plaque un léger courant de vapeur qui ramollit la gomme. Les morceaux de limaille se trouvent emprisonnés dans la masse et on laisse refroidir, après avoir recouvert d'une seconde lame de verre. On peut ensuite projeter ces figures.

Chaque grain de limaille se comporte comme un aimant très petit qui s'oriente suivant la direction de la ligne de force qui passe par le point qu'il occupe. Ces lignes suivant lesquelles se groupe la limaille coïncident donc avec les lignes de force telles qu'on les a définies, si l'on suppose que la feuille de papier puisse prendre au besoin une double courbure. Dans le cas le plus simple, c'est-à-dire dans celui d'un barreau aimanté, les lignes de force s'épanouissent dans plusieurs directions, retournent à l'extrémité opposée à celle d'où elles sont parties et reviennent s'former à travers la masse intérieure du barreau, ainsi que le montre la fig. 43.

On est convenu d'appeler « direction positive de lignes de force » celle que prennent ces lignes en sortant du pôle N de l'aimant, et on considère comm

ayant une *direction négative* celles de ces lignes qui rentrent par le pôle S de l'aimant.

Les fantômes magnétiques peuvent servir à comparer les intensités relatives de deux aimants (v. FANTÔMES MAGNÉTIQUES); mais ne permettent pas d'effectuer des mesures précises.

L'étude des lignes de force d'un champ magnétique présente un grand intérêt au point de vue de la constitution de ces champs magnétiques.

M. Jamin, le commandant Trève et M. Napoll se sont particulièrement livrés à cette étude.

Le moyen le plus simple consiste à suspendre par son centre de gravité un petit barreau aimanté très court, dont les dimensions soient négligeables par rapport à celles du champ, et à compter le nombre d'oscillations qu'il exécute à la seconde lorsqu'il est écarté de sa position d'équilibre.

Ce petit barreau se placera parallèlement à la direction de la force magnétique en son centre de gravité, et la force qui agira sur ses deux pôles sera constante en grandeur et en direction si ses dimensions sont suffisamment petites.

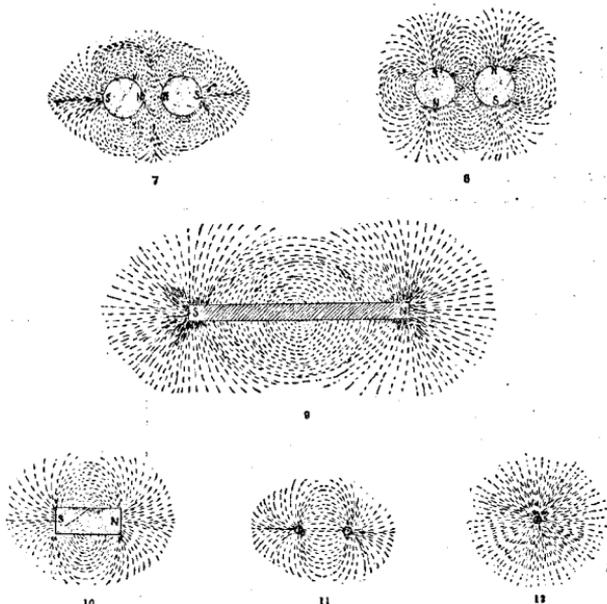


Fig. 7 à 12. — Fantômes magnétiques.

Dès lors, en employant les mêmes notations que plus haut, au § *Intensité de magnétisation*, on arrivera encore à la formule

$$I = \frac{\sqrt{\frac{2m^2}{2\pi h^2}}}{2\pi h^2}$$

qui, résolue par rapport à h , donnera

$$h = \frac{m^2 \pi^2}{2\pi} \cdot \frac{1}{I^2}$$

Voici d'autres méthodes qui permettent d'effectuer des mesures précises :

La *fig. 14* représente l'appareil de M. Jamin pour déterminer la distribution de l'intensité magnétique des aimants par la méthode d'arrachement d'un petit contact de fer doux, appelée aussi « méthode du clou d'éprouves ».

L'appareil se compose, comme on le voit, d'une ba-

lance dont l'un des plateaux B supporte le clou d'éprouve A, et le plateau C est relié à un tambour micrométrique K par un fil F, attaché lui-même à l'extrémité du ressort à boudin DE. G représente un



Fig. 13. — Direction des lignes de force magnétique.

chariot sur lequel est fixé l'aimant M que l'on se propose d'étudier. On étalonne par des poids la tension du ressort DE en fonction des degrés du tambour micrométrique. On fait glisser ensuite l'aimant à l'aide du chariot et on mesure chaque fois la force d'arrachement du contact de fer doux.

L'appareil de M. Napoli, désigné sous le nom d'explorateur du champ magnétique, donne la représentation graphique de la force d'arrachement dans trois

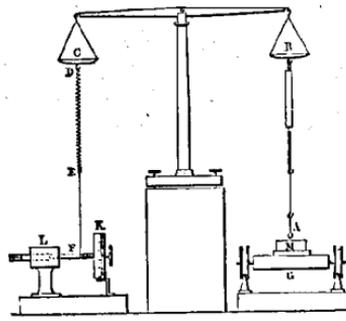


Fig. 14. — Balance et Clou d'épreuves de Jamis. (Ducrot.)
plans rectangulaires. La fig. 15 donne la vue des organes essentiels de l'instrument.

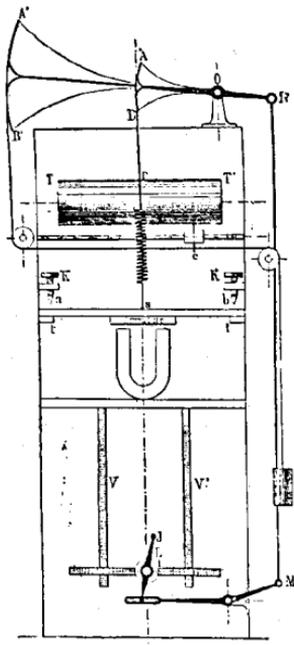


Fig. 15. — Explorateur du champ magnétique de M. Napoli.

L'aimant à expérimenter étant placé sur un plateau en bronze, un système d'engrenages permet de faire varier par fractions micrométriques la hauteur de ce

plateau et la distance des pôles de l'aimant à son armature, qui repose au-dessus sur des taquets t, t' fixés au bâti de l'appareil. (La manivelle L agit au moyen d'une vis sans fin sur deux vis V et V' qui reculent ou avancent, suivant le sens du mouvement, d'un dixième de millimètre à chaque tour de manivelle et entraînent l'aimant avec elle.) La force antagoniste est développée graduellement sur l'armature par un fort ressort à boudin r , sur lequel on exerce, au moyen d'une bielle M, de la manivelle L et d'un fléau OAB, une traction proportionnelle au déplacement de ce fléau. Ce déplacement est d'ailleurs enregistré à l'aide d'un renvoi mécanique par un crayon c , qui trace sur un cylindre enregistreur T T' une génératrice proportionnelle à la tension du ressort. Au moment de l'arrachement de l'armature, dont la course est immédiatement limitée par des vis de butée K, K, un contact électrique fait réagir le courant d'une pile locale sur le porte-crayon pour le soulever et interrompre le trait. En faisant varier la distance des pôles à l'armature et en faisant tourner après chaque opération le cylindre enregistreur d'une division, on obtient une courbe donnant en abscisses les distances des pôles à l'armature et en ordonnées les efforts exercés, c'est-à-dire les forces attractives correspondantes (fig. 16). Tous ces mouvements peuvent s'effectuer automatiquement par des dispositions mécaniques très simples, en sorte que la courbe s'inscrit sans autre manœuvre que la rotation d'une manivelle commandant simultanément le rapprochement des pôles, la rotation correspondante du cylindre enregistreur et l'augmentation de la force antagoniste du ressort sur l'armature.

On pourrait appliquer cet instrument à l'exploration d'un champ magnétique à trois dimensions, en substituant à l'armature une masse de fer doux assez petite pour ne pas troubler le champ magnétique et en déterminant en chaque point les trois composantes rectangulaires de la force.

La méthode de M. Napoli est une extension de celle du clou d'épreuves imaginée par Coulomb et employée par MM. Jamain et Tréve.

Il serait à désirer, comme le dit le rapporteur du jury de 1881, qu'une méthode de ce genre pût confirmer les indications de la théorie sur la direction et l'intensité des lignes de force. Malheureusement, il n'a pas été fait, à notre connaissance, d'expériences suivies avec cet instrument.

On peut encore déplacer dans le champ un élément de conducteur, normalement à la direction de la force et à sa propre direction, et mesurer à chaque instant la force électromotrice développée, en se rappelant que cette force électromotrice est proportionnelle alors à la longueur du conducteur, à sa vitesse de translation et à l'intensité du champ.



Fig. 16. — Spécimen des tracés graphiques donnés par l'explorateur.

Enfin, voici deux méthodes, d'un emploi très commode en pratique, qui sont dues à M. Ledue.

La première repose sur l'emploi d'un galvanomètre Lippmann réduit à un tube plat très mince, dans lequel peut circuler un fil de mercure, traversé par

un courant perpendiculaire au sens de l'écoulement du mercure. Si ce tube est placé normalement à la direction de la force magnétique, on verra le mercure s'élever dans le tube jusqu'à une certaine hauteur, qui sera proportionnelle à l'intensité du courant qu'il est connue, et à l'intensité du champ magnétique au point où le courant traverse le mercure.

La seconde méthode repose sur le phénomène suivant :

En étudiant le phénomène de HALL sur le bismuth, le moins magnétique des métaux, M. Leduc a constaté que ce métal subit une modification importante dans sa résistance spécifique, et que cette variation est proportionnelle à l'intensité du champ. Il suffit donc de promener une plaque de bismuth dans le champ que l'on veut étudier, et de mesurer la résistance électrique de cette plaque entre deux de ses points déterminés, au fur et à mesure qu'on la déplace.

3^e MESURE DES PRINCIPALES GRANDEURS MAGNÉTIQUES, EN MESURES ABSOLUES

Dans le système CGS l'unité de force ou DYNE est la force qui, appliquée à une masse égale à celle d'une gramme, lui aurait communiqué, au bout d'une seconde, une vitesse de 1 centimètre par seconde.

On en conclut que la dyne est, en désignant par g l'accélération de la pesanteur, égale à

$$\frac{1 \text{ centigramme}}{g} = \frac{1 \text{ centigramme}}{9,81}$$

L'unité de pôle magnétique sera celle du pôle qui exercera sur un pôle identique à lui-même et situé à 0^m.01 de distance une force égale à une dyne.

Enfin l'unité d'intensité de champ magnétique en un point sera celle d'un champ uniforme qui aurait la même intensité que le premier au point considéré, et qui exercerait une force égale à une dyne sur l'unité de pôle concentrée en l'un quelconque de ses points.

Nous pouvons arriver à d'autres définitions de l'intensité du champ magnétique qui, bien qu'équivalentes, nous offriront plus tard de l'intérêt.

Nous savons que si l'on déplace un conducteur, dans un champ magnétique uniforme, perpendiculairement à la direction de la force magnétique et à sa propre direction, il devient le siège d'une force électromotrice proportionnelle à la grandeur de la force, à sa longueur et à sa vitesse de translation.

On peut donc définir l'intensité d'un champ magnétique uniforme dans lequel un conducteur ayant une longueur de 0^m.01 et déplacé normalement à la direction de la force et à sa propre direction avec une vitesse de 0^m.01 à la seconde, deviendrait le siège d'une force électromotrice égale à l'unité CGS de force électromotrice, c'est-à-dire égale à 1 volt $\times 10^{-4}$ (V. volt.)

Nous savons encore que, si dans un champ magnétique uniforme nous disposons un conducteur normalement à la direction de la force magnétique et que nous le faisons traverser par un courant, il sera sollicité par une force perpendiculaire à sa propre direction, et proportionnelle à l'intensité de la force magnétique, à sa longueur et à l'intensité du courant. Nous pourrions dire :

L'unité d'intensité de champ magnétique est l'intensité d'un champ uniforme dans lequel un conducteur long de 0^m.01 situé normalement à la direction de la force magnétique et parcouru par un courant ayant pour intensité l'unité d'intensité CGS, c'est-à-dire 1 ampère $\times 10^{-1}$ (V. AMPÈRE), serait sollicité

par une force perpendiculaire à sa propre direction, égale à 4 dynes, c'est-à-dire à

$$\frac{1 \text{ centigramme}}{9,81}$$

Il résulte de ces deux définitions que, si l'on considère un conducteur rectiligne long de l mètres, situé dans un champ magnétique uniforme ayant une intensité de n unités, se déplaçant normalement à la direction de la force et à sa propre direction avec une vitesse de v mètres à la seconde, il deviendra le siège d'une force électromotrice égale à

$$100l \times 100v \times n \times 10 \text{ volt, soit } \frac{1000lvn}{10000} \text{ volt.}$$

Si nous maintenons ce conducteur fixe et le faisons traverser par un courant de 1 AMPÈRE, il sera sollicité par une force normale à sa propre direction et égale à

$$100l \times n \times 10l \times \frac{1 \text{ centigramme}}{9,81}, \text{ soit } \frac{10l^2 n}{9,81} \text{ grammes.}$$

Ces deux dernières définitions nous font voir que tout l'art de la construction des machines dynamo-électriques repose sur la détermination de leur champ magnétique.

On voit donc que l'un des problèmes les plus importants au point de vue industriel de la science électrique est le suivant :

Constituer un champ magnétique uniforme occupant un espace donné, ayant une intensité également déterminée, et ne demandant qu'une quantité de travail fixée à l'avance pour son développement.

Ce problème n'est malheureusement pas encore complètement résolu. Nous indiquons à l'article MACHINES ÉLECTRIQUES les principales données acquises jusqu'à aujourd'hui.

Forme des aimants. — La forme que l'on donne aux aimants varie suivant l'usage auquel on les destine. Si l'on se propose simplement d'étudier leurs propriétés générales, on les forme de barreaux d'acier, de dimensions en rapport avec la force qu'ils doivent avoir. Dans les boussoles, on les fait de lames d'acier très minces. Pour augmenter leur force, on les recourbe en fer à cheval, afin que les pôles rapprochés agissent simultanément sur le poids à soulever (fig. 7). M. Jamin, s'appuyant sur des recherches qui ne peuvent être développées ici, a construit des aimants dits *feuillelés* (aimants Jamin) qui possèdent une grande intensité et qui sont fort employés; ils ont généralement la forme d'un fer à cheval et se terminent par deux armatures de fer doux.



Fig. 7. — Aimant en fer à cheval, muni de son armature.

Conservation des aimants. — Un grand nombre de causes tendent à diminuer l'intensité magnétique dans les aimants : chocs, variations de température, influence de la terre, voisinage d'autres aimants, etc. Pour combattre autant que possible ces causes d'affaiblissement, on a coutume de placer au contact des aimants des pièces de fer doux, appelées *armatures* ou *ARMATURES*. Ces armures, s'aimantant elles-mêmes par influence, neutralisent les pôles des aimants et contribuent à leur conservation. L'armure

d'un aimant en fer à cheval se compose d'une seule pièce de fer doux, qui s'appelle le *contact*. Lorsque le contact est graduellement chargé de poids qui tendent à le détacher, l'aimant augmente de force; on dit qu'il *se nourrit*. Mais si par une surcharge le contact s'est détaché, l'aimant devient tout à coup moins énergique qu'il l'était primitivement; il faut diminuer sa charge et l'augmenter ensuite peu à peu.

Usages des aimants. — Les aimants sont employés pour la construction des boussoles. On s'en sert aussi pour reconnaître la présence du fer, même en petite quantité, dans les minerais et les roches, et pour séparer les parcelles de fer mélangées à d'autres poudres métalliques résultant du travail des métaux à la lime ou au tour. Les aimants sont encore employés pour la constitution des champs magnétiques des MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

Enfin ils forment la pièce essentielle des téléphones. En effet, l'action produite sur le diaphragme parlant est proportionnelle au produit de la variation d'intensité du courant qui traverse l'appareil par l'intensité du champ magnétique. Cette action se trouve donc multipliée par la puissance de l'aimant, et l'on voit de suite l'importance qu'il y a en téléphonie à pouvoir disposer d'aimants très puissants sous un petit volume.

Les aimants ont reçu dans ces dernières années de curieuses applications en thérapeutique. Leurs effets sont surtout remarquables sur les hystériques. (V. HYPNOTISME.)

Voici les plus saillants :

1^o Si on déplace un aimant dans le voisinage d'un membre, celui-ci se contracte. On pourrait expliquer à la rigueur ce phénomène en supposant que le déplacement de l'aimant détermine des COURANTS D'INDUCTION dans les muscles. Or on sait qu'un muscle se contracte quand on le fait traverser par un COURANT ÉLECTRIQUE.

2^o Si un sujet est atteint d'une douleur névralgique ou d'une paralysie locale, et si on vient à appliquer les pôles d'un aimant sur la partie malade, on voit la douleur névralgique ou la paralysie disparaître en quelques minutes, mais pour se reporter sur la partie symétrique de l'individu. En poursuivant en quelque sorte le mal avec l'aimant, on le force à se déplacer sans cesse. Or à chaque déplacement il diminue d'intensité. On a fondé sur ce fait une méthode thérapeutique qui a souvent fourni d'excellents résultats.

M. Ochorowicz se sert d'un aimant en forme de bague pour découvrir et mesurer, en quelque sorte, la sensibilité hypnotique. (V. HYPNOSCOPE.)

AIMANTAIRE. — S'est dit du minéral de fer magnétique : *Mine AIMANTAIRE.* — Qui est produit par l'aimant : *Force, puissance AIMANTAIRE. La force AIMANTAIRE du globe.* (On dit plutôt MAGNÉTIQUE.)

AIMANTATION. — Communication de la force magnétique à des substances qui ne la possèdent pas naturellement : *AIMANTATION du fer, de la fonte, de l'acier trempé.*

Aimantation par influence. — Aimantation par le simple contact d'un aimant. (V. AIMANT.)

AIMANTER. — Communiquer à l'acier, au fer et à quelques autres métaux la propriété de l'aimant : *AIMANTER une verge d'acier; AIMANTER une plaque, un barreau, un morceau de fer.*

Aimanter par simple ou par double touche. — (V. AIMANT.)

Aimanter à saturation. — Communiquer à l'acier trempé toute la force magnétique qu'il peut conserver après l'aimantation.

Aldini (Jean), physicien, neveu de Galvani, né à Bologne en 1762, mort en 1834. Professeur de physique à l'Université de Bologne, et l'un des premiers membres de l'Institut italien, à sa formation, il a beaucoup contribué à vulgariser la science, et a publié en Italien, en français et en anglais, un grand nombre d'ouvrages sur le GALVANISME, sur la vapeur, sur l'éclairage au gaz, sur un appareil de sauvetage en cas d'incendie, etc.

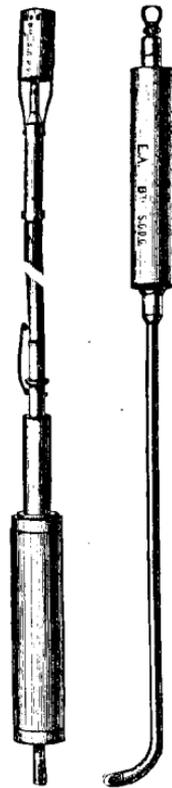
ALLIANCE (Machine de l'). — (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

ALLUMOIR ÉLECTRIQUE. — Appareil permettant d'allumer des becs de gaz ou des lampes à essence à l'aide d'une ÉTINCELLE ÉLECTRIQUE, ou d'un fil porté à l'INCANDESCENCE.

Il existe de nombreux types d'appareils de ce genre.

Les uns reposent sur la production d'une étincelle développée dans un circuit induit en fermant et ouvrant un circuit inducteur. D'autres sont basés sur l'incandescence d'un fil de platine. M. Arnaud a construit d'après le dernier système un allumoir à gaz très pratique. L'instrument a extérieurement la forme d'un cylindre d'environ 0m,25 de longueur et 0m,05 de diamètre, portant à l'une de ses extrémités une tige à bout recourbé, contenant le fil qui doit être porté à l'incandescence. Ce fil fait partie d'un circuit électrique comprenant une PILE au bichromate de potasse, placée dans le manche de l'appareil. La pile est à renversement, c'est-à-dire qu'au repos le liquide occupe la partie du tube opposée au zinc et au charbon; dans ces conditions le circuit est ouvert et la pile ne fonctionne pas. Quand on prend l'allumoir et qu'on le retourne pour présenter l'extrémité de la tige au bec qu'il s'agit d'allumer, le liquide arrive au contact des ÉLECTRODES, ferme le circuit, et le fil de platine, porté à l'incandescence, produit l'inflammation du gaz ou de l'essence. M. Arnaud a construit aussi un CHERCHEUR DE FUITES de gaz basé sur le même principe.

Un autre allumoir à gaz, de MM. Giraud et Née, consiste à enflammer le gaz par une étincelle électrique due à l'EXTRA-COURANT de rupture d'un électro-aimant placé en circuit avec une pile Leclanché. L'É-



Allumoirs Arnaud.

tinelle est développée au-dessus d'une petite fuite de gaz que l'on produit en manœuvrant le robinet; cette fuite prend feu et vient enflammer le gaz à la partie supérieure du bec. Cet almouré présente l'avantage de fonctionner automatiquement par le simple mouvement que l'on fait pour ouvrir le robinet du bec.

D'autres enfin se composent d'une petite machine **ÉLECTRO-STATIONNE** que l'on met en mouvement par la pression du doigt et qui détermine la production d'une série d'étincelles.

On peut concevoir une foule de dispositions plus ou moins ingénieuses, plus ou moins pratiques, pour allumer électriquement des gaz ou des vapeurs facilement inflammables.

ALPHABET TÉLÉGRAPHIQUE. — Chaque système de télégraphie, électrique ou autre, a pour ainsi dire sa langue plus ou moins primitive et par conséquent son alphabet plus ou moins compliqué. Sans remonter à l'antiquité et aux feux allumés par les Gaulois au sommet des montagnes, langage conventionnel tout aussi admissible qu'un autre pour des peuples ayant peu d'idées à se communiquer, nous citerons à titre de curiosité les premiers alphabets dont on a essayé l'utilisation, quelquefois sans succès à cause de l'impossibilité d'appliquer les moyens proposés.

Le Genevois Georges-Louis Lesage, d'origine française, avait imaginé un appareil d'essai composé d'autant de fils isolés les uns des autres qu'il y a de lettres, et dont chacun aboutissait à un électromètre particulier formé d'une petite balle de sureau suspendue à un fil de soie. En mettant une machine électrique ou un bâton de verre électrisé en contact avec l'un des fils, la balle correspondante était repoussée et ce mouvement indiquait la lettre que l'on voulait transmettre. Il n'y avait donc là d'autre alphabet que l'alphabet courant.

Un savant de Hanau, nommé Bergstrasser, expérimentant, vers 1785, les divers moyens de transmettre au loin la pensée, imagina de représenter les mots par des chiffres; seulement, comme le système ordinaire de numération aurait exigé un trop grand nombre de caractères, il faisait usage de l'arithmétique binaire ou quaternaire, qui n'emploie que deux ou quatre signes pour représenter tous les nombres. Il employait le feu, la fumée, les feux réfléchis sur les nuages, l'artillerie, les fusées, les explosions de poudre, les flambeaux, les vases remplis d'eau, le son des cloches, des trompettes et des instruments de musique, les cadrans, les drapeaux mobiles, les fanoux, les pavillons et les miroirs. Tout cela naturellement était impraticable, parce que l'arithmétique binaire exige que l'on répète un très grand nombre de fois les deux signes qui représentent les nombres, lorsque ces nombres sont un peu élevés. Pour une phrase d'une vingtaine de mots, il aurait fallu jusqu'à vingt mille coups de canon.

Bergstrasser, en 1787, composa un télégraphe vivant, en dressant un régiment prussien à transmettre des signaux. Les soldats exécutaient les manœuvres télégraphiques par les divers mouvements de leurs bras. Le bras droit étendu horizontalement indiquait le n° 1; le gauche, le n° 2; les deux ensemble, le n° 3; le bras droit élevé verticalement, le n° 4; et le bras gauche en l'air, le n° 5. Ces télégraphes animés manœuvrèrent en présence du prince de Hesse-Cassel, et obtinrent un succès de fou rire.

Bergstrasser prévoyait même le cas où les interlocuteurs ne pourraient s'apercevoir entre eux bien qu'ils fussent très rapprochés. Il leur mettait alors entre les mains un miroir au moyen duquel ils dirigeaient les rayons du soleil sur un objet placé à l'ombre; la répétition de ce signal à intervalles déterminés

était dans ce cas la base de l'alphabet. Ce dernier moyen a été proposé de nos jours pour un système de correspondance télégraphique applicable à l'Algérie. (V. l'Année scientifique et industrielle, 1^{re} année, 1857.)

En Allemagne également, en 1794, Reiser proposa d'éclairer à distance, au moyen d'une décharge électrique, les diverses lettres de l'alphabet découpées d'avance sur des carreaux de verre recouverts de bandes d'étain. (V. CARREAUX ÉTINCELANTS.) Il fallait naturellement autant de fils que de lettres, et l'on devait se servir de l'alphabet courant.

Un peu auparavant, les frères Chappe étaient parvenus à vaincre toutes les difficultés qui avaient entravé l'application générale de leur TÉLÉGRAPHE aérien. On sait que la partie de ce télégraphe qui forme les signaux se composait de trois branches mobiles: une branche principale de 4 mètres de long, appelée *régulateur*, et aux extrémités de ce régulateur deux branches longues de 1 mètre appelées *indicateurs* ou *ailes* et pouvant former avec la première des angles variables. Ces trois pièces forment un système unique et soutenu par un seul point d'appui coïncidant avec le centre du régulateur et autour duquel l'ensemble pouvait librement tourner.

Le régulateur était susceptible de prendre quatre positions: verticale, horizontale, oblique à gauche, oblique à droite. Les frères Chappe avaient décidé qu'aucun signal ne serait formé sur le régulateur horizontal ou vertical; les signaux n'étaient valables que quand ils étaient formés sur le régulateur placé obliquement, puis transportés tout formés soit à l'horizontale, soit à la verticale.

Les diverses positions que pouvaient prendre le régulateur et les ailes les uns par rapport aux autres donnaient 49 signaux; mais chaque signal pouvait acquiescer deux significations, suivant qu'il était transporté à l'horizontale ou à la verticale: ainsi les 49 signaux partant de l'oblique de droite recevaient 98 significations; de même pour l'oblique de gauche, ce qui produisait en tout 196 signaux. La première série servait à la composition des dépêches; la seconde aux avis et indications à donner aux stationnaires.

Pour la composition des dépêches, on avait consacré 92 des signaux de l'oblique de droite à représenter les nombres de 1 à 92; les frères Chappe avaient composé un vocabulaire de 92 pages comprenant chacune 92 mots. Le premier signal indiquait la page, le second le numéro porté dans cette page par le mot expédié. On exprimait ainsi 8,461 mots. Un second vocabulaire, appelé *Vocabulaire des phrases*, se composait également de 92 pages contenant chacune 92 phrases ou membres de phrases, soit 8,461 idées s'appliquant particulièrement à la marine et à l'armée. Lorsqu'on voulait se servir de ce vocabulaire, il fallait, bien entendu, passer trois signaux, dont le premier désignait qu'il s'agissait du vocabulaire phrase.

En Angleterre et en Suède, on se servit de volés mobiles dont les combinaisons étaient assez variées pour offrir une multitude de signaux.

La découverte de la pile, faite en 1800 par Volta, vint subitement fournir un moyen d'appliquer utilement l'électricité à la télégraphie. Schæmmering fit connaître en 1811, à l'Académie de Munich, un télégraphe électrique fondé sur la décomposition de l'eau par la pile. Trente-cinq circuits voltaïques comprenaient chacun un petit vase rempli d'eau distillée, qui représentait une lettre ou un chiffre. Lorsque, à la station où se trouvait la pile, on faisait passer l'électricité dans un des circuits, l'eau se décomposait instantanément dans le vase correspondant placé à la station extrême,

et l'on pouvait ainsi désigner à volonté les lettres et les chiffres. Il n'y avait donc d'autre alphabet que l'Alphabet courant.

En 1820, Ohmsted observa le fait fondamental de l'ÉLECTRO-MAGNÉTISME, c'est-à-dire l'influence des courants sur les aimants. Les physiciens, et notamment

Ampère, entrevirent immédiatement la possibilité d'appliquer ce fait remarquable à la télégraphie. Mais il fallait encore auparavant augmenter l'intensité de l'effet produit : le GALVANOMÈTRE, découvert par Schweigger, permit d'atteindre ce résultat. En 1833, le baron Schilling fit des essais à Saint-Petersbourg

LETTRES et CHIFFRES	SIGNES	PONCTUATIONS et INDICATIONS DE SERVICE	SIGNES
a	..... (allemand)	Point.....	.....
ä	Aliaé.....	.....
b	Virgule.....	.....
c	Point-virgule.....	.....
d	Deux points.....	.....
e	Point interrogatif.....	.....
é, è ou ô	Point exclamatif.....	.....
f	Apostrophe.....	.....
g	Trait d'union.....	.....
h	Barre de division ou de frac- tion.....	.....
i	Souligné.....	.....
j	Guillemet.....	.....
k	Parenthèse.....	.....
l	Attaque.....	.....
m	Erreur.....	.....
n	Fiscal.....	.....
o	..... (espagnol)	Attente.....	.....
ö	..... (allemand)	B. CO.....	.....
p	Répéter.....	.....
q	Signal sépare le préambule de l'adresse, l'adresse du texte, et le texte de la si- gnature.....	.....
r	Dépêche privée.....	.....
s	Faire suivre.....	.....
u	Numéro.....	.....
ü	..... (allemand)	Ilcures.....	.....
v	Matin.....	.....
w (mots)	Soir.....	.....
x	Monsieur.....	.....
y	Madame.....	.....
z	Mademoiselle.....	.....
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
0		

NOTA. — Le signe se place avant et après la phrase ou le membre de phrase à souligner.
Les signes et se placent avant et après la phrase ou le membre de phrase à mettre entre guillemets ou entre parenthèses.
L'attaque et l'erreur sont indéfinies. En pratique, il convient de faire une dizaine de points pour l'erreur, six ou huit points et autant de barres pour l'attaque.

Fig. 1. — Alphabet Morse.

entre deux stations réunies par cinq fils de platine isolés : à l'une se trouvaient cinq aiguilles aimantées placées chacune au milieu d'un galvanomètre ; à l'autre était une espèce de clavier dont chaque touche, en rapport avec l'un des fils, servait à y diriger le courant, et à mettre ainsi en action l'aiguille magnétique correspondante. Les dix mouvements formés par les cinq aiguilles, dans un sens ou dans l'autre, désignaient les dix premiers nombres qui, à l'aide d'un diction-

naire spécial, représentaient les divers signaux télégraphiques.

Le *télégraphe d'Alexander*, d'Édimbourg, exécuté définitivement en 1837, se composait de trente fils de cuivre venant circuler, à la station extrême, autour de trente aiguilles magnétiques. Quand on frappait à la station de départ l'une des touches d'un clavier, le courant passait dans le fil touché, l'aiguille correspondante déviait, et son mouvement déplaçait un écran

qui découvrait la lettre que l'on voulait désigner. Il n'y avait donc pas non plus d'alphabet spécial.

Nous arrivons enfin au *télégraphe Morse*. L'alphabet en est binaire, c'est-à-dire ne se compose que de deux éléments, le *point* et la *barre*, séparés par des espaces en blanc. Théoriquement, le règlement international prescrit de donner à la barre une longueur égale à celle de trois points; deux éléments d'une même lettre doivent être distants de la longueur d'un point; deux lettres d'un même mot, de la longueur de trois points; deux mots, de la longueur de cinq points.

Après quelques modifications de peu d'importance, l'alphabet Morse est fixé conformément au tableau de la page 30 (fig. 1).

Le télégraphe de Bain, qui imprime les dépêches

en caractères colorés sur une feuille de papier revêtu d'une composition chimique, était assez fréquemment employé aux États-Unis. L'alphabet est le même que celui du télégraphe Morse.

L'appareil de Housé, plus compliqué et un peu moins rapide, marque des lettres ordinaires d'imprimerie sur une bande de papier.

En 1841, Wheatstone imagina un *télégraphe à cadran*, appliqué en Angleterre et en Ecosse en 1846, et aujourd'hui abandonné à cause des dérangements qui survenaient dans le mécanisme. L'alphabet n'était autre que l'alphabet courant.

A ce système, Wheatstone substitua le *télégraphe à aiguille*, qui est, à proprement parler un galvanomètre dont l'aiguille dévie dans un sens ou dans l'au-

+	A	B	C	M	N	O	P
				/			
D	E	F		R	S	T	
∨	∨∨	∨∨∨		√	√√	√√√	
G	H			U	V		
E	∩			√	√√		
I				W			
E				∩			
Q	K	L		X	Y	Z	
∩	∩∩	∩∩∩		∩∩	∩∩∩	∩∩∩∩	
ATTENDEZ.				RÉPÉTEZ.			

Fig. 2. — Alphabet du télégraphe à une seule aiguille de Wheatstone. (Blavier.)

tre; généralement l'appareil comprend deux galvanomètres placés l'un à côté de l'autre, et dont les deux aiguilles concourent à la formation des signaux.

Le nombre et le sens des oscillations de l'aiguille indiquent les signaux transmis.

L'alphabet adopté pour l'appareil à une seule aiguille est représenté ci-dessus (fig. 2).

Les barres inclinées qui sont placées sous chaque lettre indiquent le nombre et le sens des oscillations que fait l'aiguille du récepteur lorsque l'agent expéditeur transmet la lettre en question. Ainsi quatre déviations de l'aiguille de droite à gauche correspondent à l'envoi de la lettre C; une déviation de l'aiguille de droite à gauche, suivie d'une déviation de gauche à droite ∨ donnent la lettre D; trois déviations de droite à gauche suivie d'une déviation de gauche à droite ∩ donnent la lettre W, et ainsi de suite.

Dans les appareils à deux aiguilles, l'alphabet est formé par la *combinaison des mouvements simultanés ou séparés* des deux aiguilles.

Le tableau alphabétique qui est ordinairement gravé sur l'appareil est reproduit page 32 (fig. 3).

Chacune des deux aiguilles indique par ses oscil-

lations les lettres ou les signes groupés autour d'elle; les lettres inscrites à la partie supérieure sont indiquées par autant d'oscillations (à droite ou à gauche) que la lettre est inscrite de fois dans le tableau. Exemple : Une oscillation à gauche de l'aiguille de gauche indique la lettre A; trois oscillations à gauche indiquent le B; une, deux ou trois oscillations à droite indiquent les lettres E, F, G. Il en est de même pour l'aiguille de droite : une, deux, trois oscillations à gauche de cette aiguille indiquent les lettres H, I, K; une, deux, trois oscillations à droite donnent les lettres N, O et P. Quant aux lettres C, D, L et M, qui sont inscrites en plus petits caractères à côté de la croix et des lettres E, H et N, elles sont indiquées par un double mouvement de l'aiguille. Ainsi, la lettre C est indiquée par une oscillation à droite suivie immédiatement d'une oscillation à gauche de l'aiguille de gauche; la lettre D par une oscillation à gauche et une oscillation à droite; la lettre L par une oscillation à droite suivie d'une oscillation à gauche, et la lettre M par une oscillation à gauche suivie d'une oscillation à droite de l'aiguille de droite.

Enfin, les signaux inscrits au-dessous des aiguilles s'obtiennent par des mouvements identiques et simultanés des deux aiguilles. Ainsi un coup à droite de

l'extrémité inférieure des deux aiguilles donne R; deux coups à droite, S; trois coups à droite, T; de même W, X et Y s'obtiennent par un, deux ou trois coups à gauche de l'extrémité inférieure des deux aiguilles. U et V exigent deux mouvements simul-

tanés des deux aiguilles dans les deux sens : ces deux aiguilles oscillant à droite, puis à gauche donnent la lettre U; oscillant à gauche puis à droite, elles donnent la lettre V. Restent les deux lettres Q et Z placées dans l'axe du tableau, en haut et en bas; elles

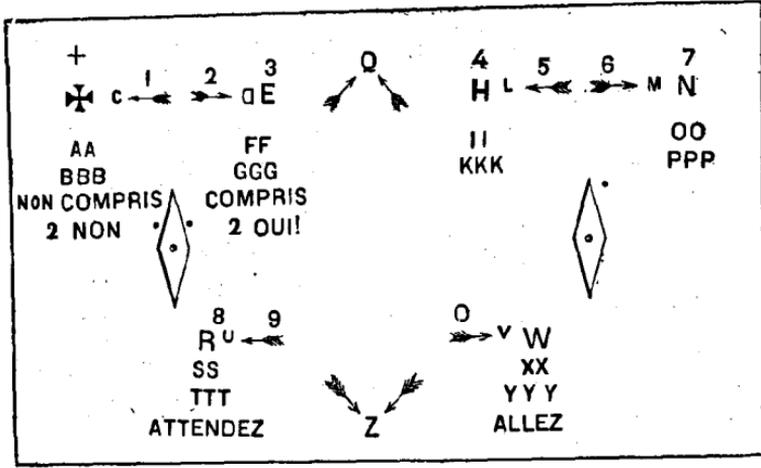


Fig. 3. — Alphabet du télégraphe à deux aiguilles de Wheatstone. (Blavier.)

so font, la première en dirigeant les deux extrémités supérieures des aiguilles l'une vers l'autre, la seconde en dirigeant les deux extrémités inférieures l'une vers l'autre.

Les signes conventionnels : oui, non, compris, at-

Le télégraphe à aiguilles est de moins en moins répandu.

En France, le premier télégraphe électrique, installé en décembre 1844 et combiné par Foy et Bréguet, exécutait les signaux ordinaires du télégraphe aérien de Chappe. Mais comme, dans le nouveau système, il n'y avait de mobiles que les deux pièces correspondant aux ailes, et que le régulateur n'était signifié que par une barre fixe dans sa position horizontale, il ne donnait que la moitié des signaux du télégraphe Chappe, c'est-à-dire que quarante-neuf figures; le vocabulaire en était donc fort restreint.

Dans la crainte qu'inspirait alors le télégraphe Morse, on remplaça l'appareil de Foy et Bréguet par le télégraphe à cadran de Bréguet.

Dans ce dernier système, les signaux (lettres et chiffres) sont inscrits sur des cadrans. Le cadran du récepteur comprend, comme celui du transmetteur, vingt-six divisions portant les vingt-cinq lettres de l'alphabet et une croix placée au sommet; à l'extérieur sont marqués les vingt-cinq premiers nombres. Une aiguille mobile autour

d'un axe placé au centre du cadran s'arrête sur la lettre ou le chiffre transmis par l'agent expéditeur; ce temps d'arrêt est très court. La fin de chaque mot s'indique par un arrêt sur la croix, et la fin de la dépêche par la lettre Z suivie de l'arrêt à la croix.

Quand, dans le courant d'une dépêche, il se présente des chiffres à transmettre, l'agent expéditeur fait faire deux tours à la manivelle de son manipulateur

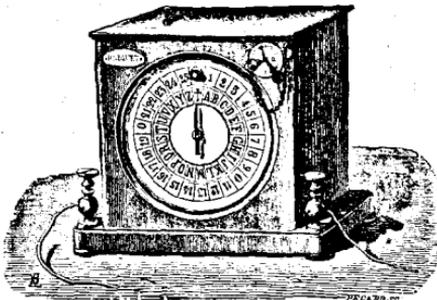


Fig. 4. — Récepteur Bréguet.

tender, allez, ainsi que les chiffres, se font par les mêmes signaux que les lettres C, D, E, H, L, M, N, R, U et V : un signal préliminaire avertit l'agent qui reçoit les signaux suivants représentant des chiffres.

Chaque série de chiffres et chaque mot sont suivis du signe qui représente la croix, auquel le correspondant répond par *compris* ou *non compris*; dans ce dernier cas, l'agent qui transmet recommence sa transmission.

et s'arrête à la croix. L'agent récepteur sait alors que tous les signes qui suivent représentent des chiffres.

Outre ce signal d'indice des chiffres, l'usage a consacré quelques autres abréviations, dont voici les principales :

AT attendez; BCO bien compris;
 RZ répétez; ZZ + final.

Les signes de ponctuation et autres signes particuliers se donnent en chiffres, quand ils sont indispensables. Dans la pratique, on supprime les signes de ponctuation, on s'arrête seulement pendant un peu plus longtemps sur la croix à la fin du mot, quand il est suivi d'un point.

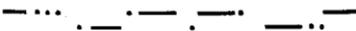
Dans le service de certains chemins de fer, on a employé des signes conventionnels pour la reproduction de phrases se répétant souvent. Ainsi, 5-8 signifiait : le train part à l'heure.

4-3 signifiait : le train est arrivé, etc.

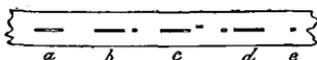
Le télégraphe à cadran, à son tour, a presque entièrement disparu, et c'est le télégraphe Morse qui l'a généralement remplacé.

Nous avons donné plus haut l'alphabet du Morse ordinaire; c'est ce même alphabet qui sert pour le télégraphe Meyer. Seulement chaque lettre ou chaque chiffre est imprimé perpendiculairement à l'axe de la bande de papier, au lieu de l'être suivant cet axe.

Dans l'impossibilité pratique d'avoir, avec le Morse, plus de deux signes élémentaires (point et barre), on a essayé d'un subterfuge consistant à donner des significations différentes au point ou à la barre suivant l'emplacement occupé par chacun de ces éléments. On se sert dans ce but de courants de sens différents : les appareils sont munis de deux styles marquant sur une même bande de papier des traits et des points disposés sur deux lignes parallèles suivant le type ci-dessous :



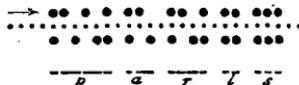
Et, afin de faciliter la distinction des lignes, on imprime les molettes d'écrites de couleurs différentes, ou bien on donne à l'une plus d'épaisseur qu'à l'autre. On a fait aussi des appareils Morse donnant pour les deux émissions de courant correspondant aux points et aux traits quatre signaux élémentaires, savoir : point sur la ligne supérieure, point sur la ligne inférieure; trait sur la ligne supérieure et trait sur la ligne inférieure. En combinant ces signaux on forme un alphabet, dont les lettres exigent en moyenne moins d'émissions de courant que l'alphabet Morse ordinaire, et dont voici un spécimen :



On peut employer un certain nombre de combinaisons pour former des mots complets ou des phrases conventionnelles. Comme l'usage de cet appareil ne s'est

pas répandu, il est inutile de donner l'alphabet complet.

Dans le télégraphe automatique Wheatstone, les signaux qui s'impriment sur la bande de la station de réception sont identiques à ceux du télégraphe Morse; mais au départ les lettres formées par le manipulateur en diffèrent beaucoup à première vue, comme le montre le spécimen suivant :



Mais le mode de formation n'en est pas moins assez

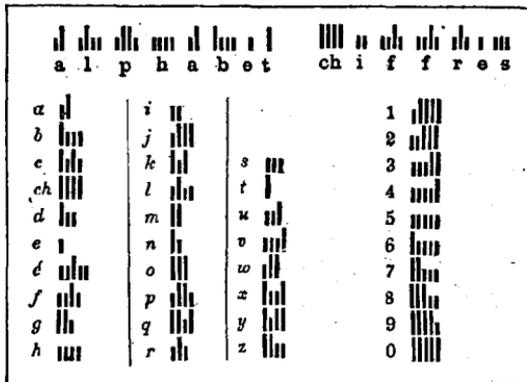


Fig. 5. — Alphabet du télégraphe Estienne.

simple, car il consiste à percer deux points l'un au-dessous de l'autre quand on veut obtenir un point à l'arrivée, et deux points en diagonale quand on veut produire une barre.

L'alphabet du télégraphe Estienne, reproduit ci-dessus (fig. 5), ne diffère de l'alphabet Morse qu'en ce que les points sont remplacés par des traits ayant la moitié de la longueur de ceux qui représentent les lettres. Ces deux sortes de traits sont perpendiculaires à l'axe longitudinal de la bande.

Le télégraphe Hughes imprime en lettres ordinaires; il en est de même du télégraphe Bandol. La fig. 6, page 34, empruntée à la notice explicative publiée par l'inventeur, indique par quelles combinaisons de touches du manipulateur on obtient chacune des lettres et chacun des chiffres.

La touche V, abaissée seule, sert à séparer les mots entre eux par un espace blanc, et à revenir des chiffres aux lettres. La touche IV, abaissée seule, sert à passer des lettres aux chiffres.

Le signal , qui se trouve dans la série des lettres et aussi dans la série des chiffres et signes de ponctuation, sert à l'emploi pour indiquer qu'il a fait erreur.

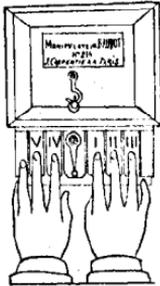
Dans la série des lettres se trouve le signe  qui sert pour certaines abréviations telles que : IMMÉD., TELEGRAPHIQUES.

Dans la série des chiffres se trouvent quelques

signes spéciaux, tels que : H, E, D, O, N, qui sont employés comme le montre l'exemple suivant :

PARIS 5/3 4 H 25' S = VENEZ IMMÉDI : 1° LE 3 0/ A 83 E 25 ; 2° LE N° 6 A 1 E 15 =

Enfin, le Code commercial des signaux sert d'alphabet pour les TÉLÉGRAMMES SÉ-MAPHORIQUES.



MAIN GAUCHE				MAIN DROITE					
V	IV	I	II	III	V	IV	I	II	III
	A	|	•			P	%	•	•
•	B	8			•	Q	/		•
•	C	9			•	R	-		•
	D	0	•	•	•	S	:		•
	E	2		•	•	T	!	•	•
	É	&	•	•	•	U	4	•	•
	F	£	•	•	•	V	'	•	•
	G	7			•	W	?	•	•
	H	°	•	•	•	X	,		•
	I	°	•	•	•	Y	3		•
	J	6			•	Z	:	•	•
•	K	(			•	E	.		•
•	L	=			•	•	•		•
•	M	)			•	BLANC de CHIFFRES			
•	N	°			•	BLANC de LETTRES			
	O	5	•	•					

Fig. 6. — Alphabet du télégraphe Baudot.

AMALGAMATEUR ÉLECTRIQUE. — Appareil dû à M. James Maues et destiné à traiter les minerais d'or et d'argent d'une façon plus complète que jusqu'ici, pour éviter les pertes de ces métaux et de mercure, qui sont très notables avec les procédés en usage.

Des cônes d'acier sont disposés inversement les uns au-dessus des autres, de sorte que la base de l'un communique avec le sommet de l'autre. Des brosses ou des meules en acier tournent continuellement à l'intérieur de ces cônes, où l'on fait circuler un courant d'eau et de mercure. Le minéral pulvérisé entre par une trémie à la partie supérieure ; les brosses et les cônes sont mis en relation avec une source électrique. Ce dispositif rend l'amalgamation de l'or beaucoup plus complète, et l'on recueille, selon les inven-

teurs, 75 % de la totalité de l'or et du mercure qui traverse l'appareil

AMALGAMATION. — Action d'amalgamer. Se dit de l'opération qui consiste à combiner le mercure avec un autre métal. — Se dit aussi de l'opération qui consiste à recouvrir les zincs des PILES d'une couche de mercure.

Il a été reconnu que l'amalgamation des zincs de piles est extrêmement favorable au bon fonctionnement de ces générateurs d'électricité. C'est ce qu'on appelle *amalgamer le zinc dans la masse*.

On peut procéder à l'amalgamation de différentes manières : 1° en frottant les zincs au contact du morsure avec une brosse en fil de fer ; 2° en les faisant baigner dans une solution d'un sel mercuriel ; 3° en projetant du mercure dans du zinc en fusion.

M. Desruelles a récemment imaginé de frotter les zincs avec un onguent analogue à l'onguent napoléain, mais très riche en mercure. Il convient alors d'employer comme corps gras de la vaseline. Cette méthode donne de très bons résultats et n'augmente pas la résistance des piles, comme on pourrait le croire.

L'amalgamation du zinc se fait avec absorption de chaleur. Cette énergie se retrouve disponible dans le courant électrique, et l'on a comme premier bénéfice une légère augmentation de force électromotrice. Un avantage bien plus sérieux résulte de ce que toute la surface métallique devient identique à elle-même, et que, par suite, il ne se forme plus de couples locaux. La dépense de zinc devient dès lors sensiblement proportionnelle au nombre d'AMPÈRES débités.

AMBRE. — Résine fossile, qui devient électrique par le frottement. C'est du nom grec *elektron*, qui signifie « ambre jaune », qui vient le mot *ÉLECTRICITÉ*.

AME. — Partie centrale d'un CABLE sous-marin ou souterrain composée d'un ou plusieurs fils conducteurs.

AMMÈTRE. — Sorte d'AMPÈRÈMÈTRE imaginé par MM. Woodhouse et Rawson et employé en Angleterre. La partie fixe est formée de deux ÉLECTRO-AIMANTS munis de pièces polaires pouvant se déplacer à volonté. La partie mobile est une ARMATURE en fer doux, aimantée par influence lorsque la bobine des électro-aimants est traversée par un courant. L'armature de fer doux est dirigée par un ressort à boudin. On mesure l'angle de torsion de ce ressort au moyen d'une aiguille fixée à la tige qui le commande. Lorsque l'appareil n'est traversé par aucun courant, l'armature est oblique par rapport à la ligne des pôles des électro-aimants. Quand le courant passe, l'armature est entraînée dans le plan des pôles de l'aimant ; on tend alors à la main le ressort jusqu'à ce que l'aiguille revienne à sa position initiale, et de l'angle de torsion on déduit l'intensité du courant. Mais il est à remarquer que la loi simple du magnétisme ou fonction de l'intensité, d'où découle le principe de cet instrument, n'est vraie que pour les points où le fer de l'électro-aimant est très loin de son point de saturation.

AMORCE ÉLECTRIQUE. — Petit récipient de construction particulière renfermant deux conduc-

teurs soigneusement isolés l'un de l'autre et dont les extrémités sont séparées par un très petit intervalle qu'on remplit d'une composition sensible. Si on met les deux conducteurs en relation avec une source d'électricité, il jaillit entre leurs extrémités une étincelle qui détermine l'inflammation de la composition sensible qui les encadre et par suite l'inflammation de la cartouche de poudre ou de dynamite.

Il existe une grande variété d'amorces électriques, faites toutes d'après le même principe, mais dont les formes et les dimensions varient suivant le service auquel on les destine. On peut les diviser en deux catégories : les amorces à haute tension et les amorces à faible tension. Les premières sont enflammées par le passage d'une étincelle électrique dans une matière combustible placée entre les deux extrémités de deux fils conducteurs ; les secondes, par l'incandescence d'un fil de platine interposé entre les conducteurs et noyé dans une composition chimique explosive.

Les amorces à haute tension peuvent être utilisées sans le secours de batteries voltaïques ; il suffit de faire usage d'un explosif portatif d'un modèle quelconque, ce qui est un grand avantage.

Les amorces à faible tension détonent sous l'action d'un courant de tension relativement faible ; on produit cette détonation à l'aide d'une batterie voltaïque. On préfère les amorces à haute tension pour les mines qui doivent être préparées longtemps à l'avance, et les autres pour les opérations immédiates.

Ces amorces à faible tension sont composées d'une quantité de fulminate de mercure variant de 0^m,5 à 2 grammes, logée dans un tube en fer-blanc ou en laiton de 2 à 3 dixièmes de millimètre d'épaisseur et d'une longueur de 0^m,04 à 0^m,07. Dans ce tube on introduit la tête de l'amorce, qui se compose d'un petit fil de platine roulé en spires et entouré d'un petit flocon de fulmicoton.

Dans les amorces pour appareils électriques à haute tension, la composition explosive qui sépare les deux extrémités isolées des conducteurs se compose de chlorate de potasse, de sulfure d'antimoine et de charbon de corne.

Dans l'amorce du colon Ebner, les extrémités des fils de cuivre sont isolées et soutenues par une masse de soufre et de verre fondus ensemble.

MM. Scola et Ruggieri ont présenté en 1886 à l'Académie des sciences de nouvelles amorces électriques composées de deux fils de cuivre recouverts de coton et enroulés à l'une de leurs extrémités sur un petit cylindre en bois. Autour de ces fils et de leur support on colle une cartouche en papier remplie d'une pâte fusante, mélange de chlorate de potasse, de salpêtre, de sulfure d'antimoine et de charbon finement pulvérisé ; cette dernière matière est destinée à donner une faible conductibilité à la masse. Les fils ainsi disposés sont fixés à l'extrémité d'un tube de papier ou de carton A conique extérieurement et renfermant une

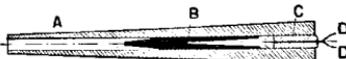


Fig. 1. — Mèche Ruggieri ou allumeur à projection.

mèche ou étoupe B en pulvénin. Le gros bout du tube est fermé par l'amorce électrique C, les extrémités des fils conducteurs DD restent en dehors.

Lorsqu'on veut déterminer l'explosion d'une mine chargée à la poudre ordinaire, on réserve dans le bourrage un étroit cylindre vide au moyen d'une épinglette. C'est à la partie supérieure du canal que l'on

place l'amorce décrite. Il suffit de relier les deux fils de cuivre à une bobine d'induction ou mieux à l'appareil dit COUP DE POING, pour obtenir au moment voulu une étincelle d'EXTRA-COURANT qui enflamme la pâte fusante. Les gaz ainsi produits allument la mèche en pulvénin et la projettent avec une grande vitesse jusqu'au sein de la mine. Le tube joue ainsi le rôle d'un petit fusil dans lequel la mèche serait le projectile. La mine part tout de suite, sinon son inflammation ne se produira plus. Il n'y a donc pas de temps perdu en attente dans le résultat de l'opération et pas de danger à craindre en s'approchant trop hâtivement.

Le même système s'applique aux mines chargées à la dynamite, à cette différence près qu'on ajoute une amorce fulminante sur laquelle vient buter la mèche au moment de la projection.

L'amorce est une partie essentielle de la TORILLE marine ; aussi a-t-on cherché avec le plus grand soin les meilleurs modes de fabrication.

Le baron d'Ebner, chargé en 1859 de la défense de Venise, avait imaginé une amorce dont il a été parlé plus haut, mais qui a été abandonnée depuis à cause des inconvénients que présente l'emploi des courants de tension. Aujourd'hui on préfère se servir, pour les explosions sous l'eau, du courant de la pile, et dans ce cas les amorces sont essentiellement constituées par un fil de platine très fin, que doit traverser le courant et qui est entouré de la matière explosive constituant la charge de l'amorce.

Vérification des amorces électriques. (Appareil Ducretet). — En 1866, M. Ducretet a imaginé un

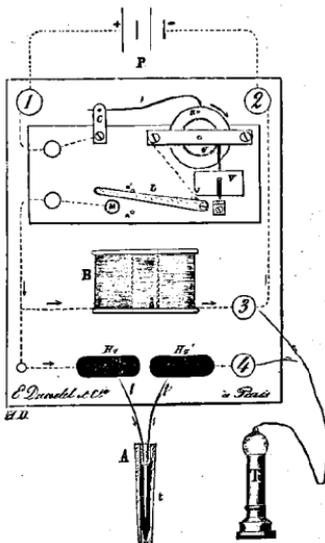


Fig. 2. — Appareil à vérifier la fabrication des amorces électriques.

appareil qui permet de vérifier la fabrication des amorces électriques. Il peut arriver, en effet, que

les deux fils soient en contact métallique ou qu'ils soient, au contraire, trop distants pour que l'étincelle puisse jaillir, ou enfin que l'amorce ne soit pas chargée. L'appareil Ducrest (fig. 2), qui sert à déceler l'un ou l'autre de ces défauts, se compose d'une pile de trois éléments Leclanché P, dont le courant traverse un interrupteur à mouvement d'horlogerie R; puis, une bobine à fil fin B; enfin, en dérivation sur cette bobine, un téléphone T et deux coupelles à mercure Hg et Hg' complètent ce second circuit. Lorsqu'on met en mouvement l'interrupteur et qu'on plonge dans chacune des coupelles un des fils de l'amorce, on perçoit dans le téléphone un bruit insupportable, s'il y a contact métallique entre les fils de cuivre; si, au contraire, les fils sont bien isolés, on n'entend rien. Si l'amorce est de bonne qualité et que l'étincelle se produise, on entend une faible crépitation provenant du passage de l'électricité à travers la matière fusante qui renferme une notable quantité de charbon de corne. Les essais galvanométriques des amores à fil de platine, employés dans la marine, n'indiquent pas que l'amorce est chargée. Avec l'appareil ci-dessus on peut s'en assurer. En effet, si l'amorce n'est pas chargée, on ne percevra aucun bruit dans le téléphone.

L'appareil Ducrest permet de vérifier facilement et rapidement un grand nombre d'amores de mines.

Ampère (André-Marie), philosophe et savant célèbre, né à Lyon, le 22 janvier 1775, mort en 1836. Ses premières années s'écoulèrent à Poleymieux-lez-Mont-d'Or, village voisin de Lyon, où ses parents, retirés du commerce, avaient acquis une modeste propriété. Il avait à peine dix-huit ans, que déjà il avait inventé une *langue universelle*, destinée, en remplaçant le nombre infini des idiomes qui couvrent la terre, à rapprocher les hommes et à consolider la paix. En 1793, le père du jeune philosophe, accusé de sympathie pour l'aristocratie lyonnaise, monta sur l'échafaud. Ampère en ressentit une commotion si profonde qu'il fut sur le point de perdre la raison. Pour détourner le cours de sa douleur, il s'adonna, et toujours avec son ardeur accoutumée, à la botanique, à la poésie, à la musique. Il fut nommé en 1801 professeur de physique à Bourg, où il alla résider. C'est à Bourg qu'il écrivit ses *Considérations sur la théorie mathématique du jeu*, ingénieuse application du calcul des probabilités. Cet ouvrage valut à son auteur une chaire au collège de Lyon et, plus tard, une place de répétiteur à l'École polytechnique de Paris. Membre consultatif des arts et métiers en 1806, inspecteur général de l'Université en 1808, professeur d'analyse à l'École polytechnique et chevalier de la Légion d'honneur en 1809, membre de l'Institut en 1814, et, peu après, de toutes les sociétés savantes de l'Europe, Ampère, souvent embarrassé de ses fonctions et de ses titres, ne se trouvait à l'aise que dans son petit laboratoire de la rue des Possés-Saint-Victor, d'où allait sortir une des plus importantes découvertes de la science moderne.

En 1819, CErsted, physicien danois, avait observé que si l'on dispose, parallèlement à une aiguille aimantée, mobile sur un pivot, un fil métallique traversé dans sa longueur par un courant d'électricité, l'aiguille quitte le méridien magnétique et se met en croix avec le fil. Toutefois, ce phénomène offre des aspects divers, suivant que l'aiguille est ou n'est pas astatique, suivant le sens du courant, suivant les positions relatives de l'aiguille et du fil. Ampère trouva une formule ingénieuse qui renferme toutes les circonstances. (V. LOIS DES COURANTS ÉLECTRIQUES.) Il

étudia, il multiplia les expériences, et il découvrit (1820) que les courants électriques agissent les uns sur les autres; sur ce fait il créa une science nouvelle, l'*électro-dynamique*, et confond deux sciences jusque-là distinctes : l'électricité et le magnétisme.

Si les courants électriques agissent sur les aimants, il doit y avoir réciprocité; aussi Ampère eut-il occasion de remarquer que la terre, qui a, comme on sait, toutes les propriétés d'un aimant, possède une action d'influence dans toutes les expériences d'électro-dynamique. Des faits observés Ampère conclut qu'il existe un système de courants parallèles à l'équateur magnétique et marchant de l'est à l'ouest, et que ce sont ces courants qui agissent sur l'aiguille aimantée et sur les courants de nos appareils. Ainsi la terre agirait, non plus en qualité d'aimant, comme le supposait Gilbert, le médecin de la reine Elisabeth, mais par les courants électriques. Passant aux phénomènes, restés jusqu'alors obscurs, du magnétisme et de l'électro-magnétisme, Ampère les expliqua avec la plus grande facilité en faisant voir qu'ils ne sont que des effets de courants qui circulent autour des particules des substances magnétiques, effets qu'il réussit à reproduire à l'aide de ses fameux solénoïdes. La théorie d'Ampère ramène de la sorte les phénomènes de l'électro-dynamique, du magnétisme, de l'électro-magnétisme et du magnétisme terrestre, au seul fait de l'action mutuelle de deux courants. Ampère contribua aussi, avec Arago, à l'invention de l'ÉLECTRO-AIMANT.

Sur la fin de sa vie, il entreprit, dans un travail gigantesque, une classification de toutes les connaissances humaines, sous le titre d'*Essai sur la philosophie des sciences, ou Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*, ouvrage inachevé. Déjà souffrant depuis plusieurs années, Ampère partit pour inspecter le collège de Marseille, et c'est là qu'il mourut d'une affection de poitrine, le 10 juin 1836.

Les principaux ouvrages d'Ampère sont, outre les deux que nous avons cités et un grand nombre de mémoires disséminés dans les journaux scientifiques et dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences, les suivants : *Traité de calcul différentiel et de calcul intégral*, sans nom d'auteur; *Démonstration des lois de la réfraction* (1816, Mém. de l'Institut); *Mémoire sur l'action mutuelle de deux courants électriques...* (1820, Annales de Chimie); *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes Electro-magnétiques* (1827, Mém. de l'Acad. des sciences); *Considérations philosophiques sur la détermination du système solide et du système nerveux des animaux articulés* (1824, Annales des Sciences naturelles), etc.

AMPÈRE (Lois d'). — Lois relatives à l'action des courants sur les courants. (V. LOIS DES COURANTS.)

AMPÈRE (Unité). — Nom donné à l'unité pratique d'intensité dérivée du système (C G S. V. UNITÉS ABSOLUES.)

C'est l'intensité d'un courant qui débiliterait l'unité pratique de QUANTITÉ à la seconde. On se rendra compte de la grandeur d'un ampère en remarquant que c'est l'intensité du courant que fournirait une pile Daniell de résistance négligeable et dont les deux bornes seraient reliées par un circuit formé de 100 mètres de fil télégraphique ordinaire.

On peut remarquer aussi que c'est l'intensité du courant qui déposséderait 0mm,6615 de cuivre à la seconde.

Avant la décision du congrès tenu en 1881, à l'Ex-

position d'électricité de Paris, en donnant le nom de *weber* à l'unité d'intensité.

L'ampère est égal à 10^{-1} unités d'intensité du système C.G.S. L'introduction du coefficient 10^{-1} a été faite dans le seul but d'arriver à une unité qui, tout en faisant partie d'un système d'unités absolues (voir ce terme), permit d'évaluer les intensités que nous avons le plus souvent à mesurer sans employer des nombres trop petits.

AMPÈRE-HEURE. — Quantité d'électricité qui traverse un circuit pendant une heure lorsque l'intensité du courant est de 1 ampère. 1 ampère-heure = 3.600 COULOMBS. (V. UNITÉS ÉLECTRIQUES.)

AMPÈRÈMÈTRE. — On désigne sous le nom d'ampèrèmetre (ou ampères-mètre) une sorte de GALVANOMÈTRE spécialement destiné à la mesure de l'intensité qui parcourt un circuit.

L'ampèrèmetre devant être intercalé dans le circuit, il convient de lui donner une résistance aussi petite que possible, pour ne pas troubler les phénomènes observés, et ne pas faire chauffer l'appareil.

On peut dire que tout galvanomètre à fil très gros

et très court pourra constituer un ampèrèmetre. Mais on donne particulièrement ce nom à certains appareils construits dans un but purement industriel et dont les principales qualités doivent être la simplicité et la facilité de lecture.

Les plus usités sont :

L'ampèrèmetre ou galvanomètre à arête de poisson de M. Marcel Deprez;

L'ampèrèmetre ou galvanomètre industriel de MM. Deprez et Carpentier;

L'ampèrèmetre de MM. Ayrton et Perry;

L'électro-dynamomètre de Siemens;

L'ampèrèmetre ou galvanomètre d'Obach;

L'ampèrèmetre ou galvanomètre de M. de Lahnde;

L'ampèrèmetre ou galvanomètre à mercure de M. Lippmann;

L'ampèrèmetre ou galvanomètre à molécules orientées de M. Gravier;

L'ampèrèmetre ou voltmètre à déviations rendues proportionnelles de MM. Marcel Deprez et d'Arsonval.

Voici une description sommaire de ces appareils. **Galvanomètre à arête de poisson de M. Marcel Deprez.** — L'appareil se compose d'un aimant en

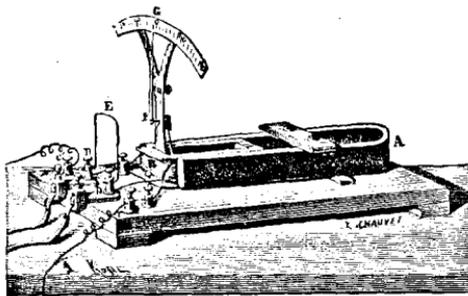


Fig. 1.
Galvanomètre de Deprez à arête de poisson. (Carpentier.)

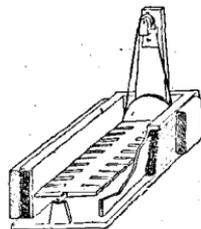


Fig. 2. — Galvanomètre de Deprez.
(Vue de l'armature.)

fer à cheval très puissant A (fig. 1). Entre les branches de cet aimant se trouve un cadre galvanométrique horizontal B ayant pour longueur la moitié environ de celle des branches de l'aimant. Sur ce cadre est enroulé soit un gros fil, soit une lame de cuivre formant un seul tour. A l'intérieur du cadre est un axe horizontal sur lequel sont fixées, dans un même plan, une série de petites tiges de fer doux qui, polarisées par les branches de l'aimant, constituent une série de petits aimants ayant leurs pôles à chaque extrémité. (V. la fig. 2 qui représente la vue perspective de l'armature de fer doux et des circuits galvanométriques qui l'enroulent.) Un index F, très léger et très long, fixé à angle droit sur l'axe, permet de lire les indications de l'instrument sur un cercle gradué G. La loi des déviations de l'aiguille sous l'influence des courants n'étant pas connue, on gradue l'appareil empiriquement, et on est obligé de l'étalonner de temps en temps, les aimants s'affaiblissant à la longue.

Galvanomètre industriel de MM. Deprez et Carpentier. — Ce galvanomètre est basé sur le même principe que le précédent. Il se compose de deux

aimants demi-circulaires dont les extrémités s'infléchissent vers le centre et dont les pôles de même nom sont en regard (fig. 3). Entre ces quatre pôles se trouvent deux bobines formées de bandes de cuivre

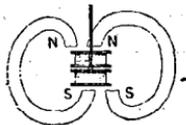


Fig. 3.
Vue intérieure du galvanomètre Deprez et Carpentier.

isolées, enroulées dans le même sens. Dans l'intervalle qui sépare ces deux bobines se trouve un axe vertical supportant deux aiguilles parallèles, dont l'une, très petite, en fer doux, est placée dans l'axe des bobines, et dont l'autre, en aluminium, et relativement longue, est fixée au-dessus de la première, à l'extré-

mité supérieure de l'axe vertical (fig. 4). Cette aiguille d'aluminium se meut sur un cadran gradué empiriquement en ampères ou en fractions d'ampère. Le tout

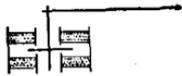


Fig. 4. — Disposition de l'aiguille du galvanomètre Depros et Carpentier.

est enfermé dans une boîte cylindrique en cuivre ayant l'aspect extérieur d'un baromètre anéroïde.

Cet ampèremètre a besoin d'être étalonné de temps en temps. Bien que moins exact que le précédent, il est plus fréquemment employé, parce qu'il est plus commode.

La fig. 5 donne la vue perspective d'un ampère-



Fig. 5. — Ampèremètre industriel (Carpentier).

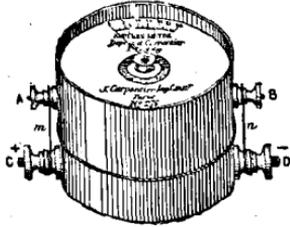


Fig. 4. — Ampèremètre industriel avec son réducteur.

mètre gradué de 0 à 30 ampères, et la fig. 6 la vue de ce même instrument muni d'un réducteur servant à diminuer sa sensibilité. M. Carpentier construit des ampèremètres de 0 à 10, de 0 à 25 et de 0 à 50 ampères.

Ampèremètre d'Ayrton et Perry. — Il se compose essentiellement d'un aimant en forme de fer à cheval A dont les deux pôles portent deux petites masses de fer doux (fig. 7). Dans le champ magnétique ainsi constitué est placé un axe perpendiculaire au plan de l'aimant et portant une petite aiguille de fer doux (invisible sur la figure). A l'extrémité de l'axe en question est disposée une aiguille indicatrice à très légère, dont la pointe se meut devant un arc de cercle G divisé empiriquement. Autour de la petite aiguille de fer doux est enroulé un câble formé de dix fils isolés, et dont les extrémités aboutissent à un petit commutateur C permettant de faire passer le courant dans les dix fils en série ou en dérivation. On possède

ainsi le moyen d'utiliser le même appareil pour la mesure de courants d'une intensité très différente.

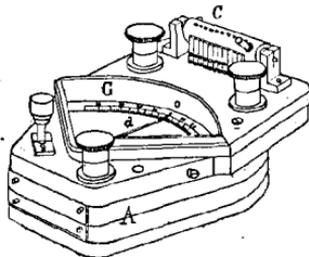


Fig. 7. — Ampèremètre d'Ayrton et Perry.

M. Desruelles construit un ampèremètre portatif dont la fig. 8 donne une vue perspective et qui a beaucoup d'analogie avec l'appareil précédent. Il se compose d'un aimant en fer à cheval qui maintient une petite aiguille de fer doux dans une position per-

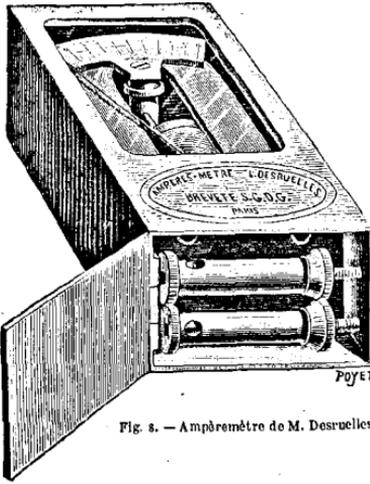


Fig. 8. — Ampèremètre de M. Desruelles.

pendiculaire aux branches de l'aimant. Entre ces deux branches se trouve un solénoïde muni d'un noyau de fer doux. Lorsque le courant à mesurer passe dans le solénoïde, il polarise le noyau de fer doux et l'aiguille dévie. La graduation est empirique.

Électro-dynamomètre de Siemens. — Dans cet électro-dynamomètre, les deux bobines sont faites avec du fil isolé de 0,303 à 0,004 de diamètre (fig. 9). La bobine intérieure, composée d'un certain nombre de spires, est fixe; la bobine extérieure, formée d'un seul tour de fil, est mobile. Deux godets à mercure *g g*, creusés dans le bâti en bois de l'appareil, servent à faire entrer le courant dans le circuit mobile. Ce dernier est suspendu par un erin, passant dans l'intérieur d'un ressort spirale en pla-

line r qui tend à le ramener à la position zéro, indiquée par un index i sur un disque gradué horizontal D. Quand le courant traverse les deux circuits de l'appareil, le circuit mobile est dévié. On le ramène au zéro en agissant sur la spirale à l'aide d'un bouton placé à la partie supérieure, et l'angle de torsion mesuré

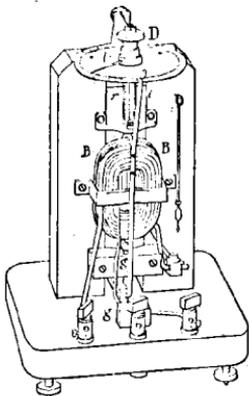


Fig. 9. — Electro-dynamomètre de Siemens.

par une aiguille i qui se meut sur le cercle gradué D, donne la mesure de l'intensité, puisque les torsions sont proportionnelles aux carrés des intensités.

Une table, dressée une fois pour toutes, permet d'avoir la valeur en ampères correspondant à chaque déviation.

Un des avantages de cet électro-dynamomètre, c'est que l'action du MAGNÉTISME TERRESTRE sur une seule spire étant négligeable, l'appareil n'a pas besoin d'être orienté. (*Lum. élect.*, 1882.) — (Cet avantage est commun aux ampèremètres de M. Marcel Deprez et de MM. Ayrton et Perry).

Galvanomètre d'Obach. — Le principe sur lequel repose cet appareil est le suivant : Si on incline d'un angle i (fig. 10) sur la verticale l'anneau d'un GALVA-

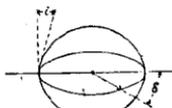


Fig. 10.

MÈTRE DES TANGENTES, sans faire varier le courant qui le traverse, la déviation δ de son aiguille sera fonction de cette inclinaison, et l'intensité I du courant sera donnée par la formule :

$$I = \frac{I_0 \delta}{\cos i} \times A,$$

A étant une constante exprimant le nombre d'ampères qui imprime à l'aiguille la déviation-unité ou 45° (fig. 45° = 1), l'anneau de l'appareil étant vertical.

AMPÈREMÈTRE

Les appareils de ce genre permettent de mesurer des courants de très grande intensité avec beaucoup d'exactitude; ils sont très usités en Allemagne.

Ampèremètre de M. de Lalonde. — Cet ampèremètre, imaginé en 1885, est fondé sur l'action qu'exerce un solénoïde sur un faisceau de fils de fer doux, mobile à son intérieur et maintenu par une force antagoniste. Il se rapporte au type de la BALANCE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE de Becquerel, et permet, comme cet instrument, de peser, pour ainsi dire, l'action électrique des courants.

L'appareil se compose d'un faisceau de fils de fer

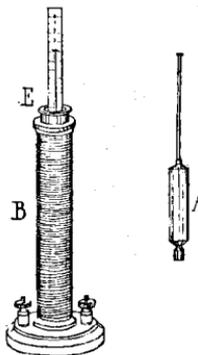


Fig. 11. — Ampèremètre de M. de Lalonde.

doux placé à l'intérieur d'un aréomètre métallique A plongeant dans une éprouvette E remplie d'eau et entourée par une bobine B que traverse le courant à mesurer (fig. 11). La position initiale de l'aréomètre, réglée par le niveau maintenu constant du liquide, étant toujours la même, on comprend qu'il prendra une position d'équilibre fixe, en s'enfonçant d'une certaine quantité, variable avec chaque intensité du courant qui traverse la bobine, mais constante pour une même intensité. La partie supérieure de la tige de l'aréomètre est plane et constitue l'index, qui se déplace le long d'une échelle verticale graduée expérimentalement. Une particularité importante est le guidage de la tige de l'aréomètre qui traverse un ceil métallique à l'intérieur du liquide. Cette disposition supprime les frottements contre les parois de l'éprouvette et n'allègre en rien la sensibilité de l'aréomètre. En faisant varier les dimensions de la bobine et celles du faisceau de fer doux ou de la tige de l'aréomètre, on peut, pour une même intensité donnée, obtenir une course aussi grande qu'on le désire. L'appareil est nettement aperiouique; il n'est pas influencé d'une façon sensible par les variations de température; enfin, ses indications ne sont pas altérées par le voisinage de masses métalliques ou d'aimants même très puissants. Sa sensibilité est très grande. Il peut donc rendre de réels services.

Galvanomètre à mercure de Lippmann. — Cet appareil se compose essentiellement d'un manomètre à mercure placé entre les branches d'un aimant fixe en forme de fer à cheval, de telle manière que les deux pôles de l'aimant se trouvent à droite et à

gauche de la branche horizontale du manomètre (fig. 12). Le courant électrique qu'il s'agit de mesurer est amené au mercure contenu dans cette branche

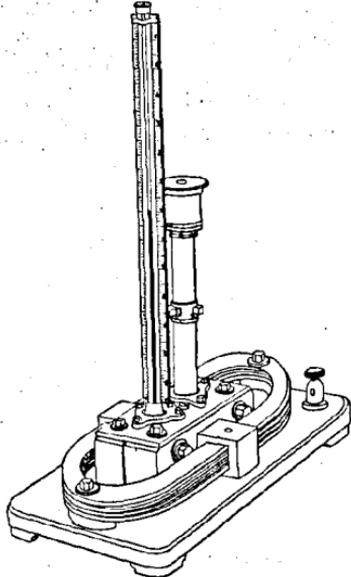


Fig. 12. — Galvanomètre à mercure de Lippmann.

horizontale et le traverse verticalement, c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe du tube. Une déviation se produit alors entre les deux branches verticales du manomètre, et cette déviation est proportionnelle à l'intensité du courant. La théorie du fonctionnement du galvanomètre est la suivante : la portion de colonne de mercure parcourue par le courant électrique représente un élément de courant mobile qui tend à repousser l'aimant placé dans son voisinage dans une direction déterminée par la loi d'AMPÈRE ; mais, comme l'aimant est immobile et que l'élément de courant est mobile, c'est ce dernier qui se déplace ; la réaction qu'il subit produit une poussée hydrostatique qui se traduit par la déviation du mercure. Le mercure s'arrête dès que la pression hydrostatique fait équilibre à la poussée électromagnétique.

Ampèremètre à molécules orientées de M. Gravier. — M. Gravier donne le nom de *molécules orientées* à des disques D de matière non magnétique sur lesquels il fixe par collage ou par soudure, suivant les cas, des fils de fer deux parallèles, ainsi que le montre la fig. 13. Ces disques sont ensuite enfilés sur un axe de façon que tous les fils de fer de chaque disque soient parallèles entre eux. Le cylindre C ainsi formé est monté sur pointes ; en arrière se trouve un contrepoids et en avant une aiguille qui se meut devant un limbe divisé empiriquement. Par l'effet du contrepoids, les lignes ma-

gnétiques de l'armature sont maintenues en repos dans une direction qui fait un angle de 80° avec les lignes de force d'un champ électro-magnétique constitué par deux bobines d'électro-aimant B, B (fig. 14) dont les noyaux aboutissent près du cylindre C et sont dirigés perpendiculairement à l'axe de ce cylindre. Quand le courant traverse le fil des électros, l'aiguille prend instantanément une position qui indique l'intensité du courant. L'appareil se gradue suivant les méthodes connues (méthode du VOLTMÈTRE, etc.).

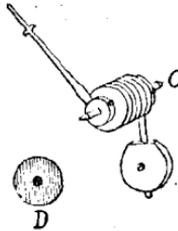


Fig. 13.

Ampèremètre de M. Gravier (détail de l'armature).

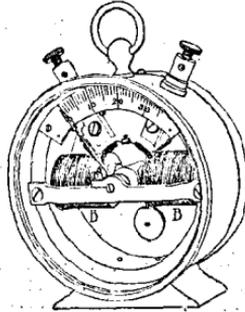


Fig. 14.

Ampèremètre à molécules orientées de M. Gravier.

Ampèremètre ou voltmètre à déviations rendues proportionnelles de MM. Deprez et d'Arsonval. — Cet appareil, très commode, se compose essentiellement d'un aimant en fer à cheval placé verticalement sur un socle en bois (fig. 15) ; à l'intérieur des branches de cet aimant et près de ses pôles, se trouvent deux masses de fer doux entaillées cylindriquement et enveloppant un cylindre de fer doux.

Dans l'espace tubulaire compris entre ce dernier et les masses polaires, est placé un cadre galvanométrique mobile autour de son axe de figure qui coïncide avec celui du cylindre. Les deux extrémités de cet axe sont constituées par deux fils d'acier servant de moyen de suspension, de ressort de torsion et d'amenée de courant. Sur le fil est monté un index en aluminium, pouvant se déplacer le long d'un cercle gradué.

Le champ magnétique obtenu au moyen des masses polaires et du cylindre de fer doux est uniforme, ce qui rend les déviations de l'aiguille proportionnelles aux intensités.

Entre les bornes de l'ampèremètre on intercale un *shunt*, représenté *fig. 16*, et destiné à ne laisser passer dans le galvanomètre qu'une fraction seule-

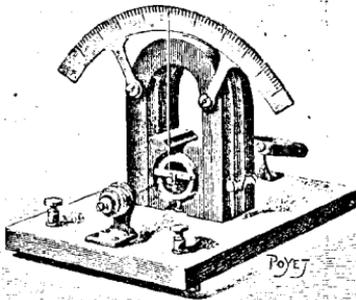


Fig. 15. — Ampèremètre ou voltmètre de M. Marcel Deprez, à déviations proportionnelles. (Darhier.)

ment du courant à mesurer, insuffisant pour produire un échauffement du cadre, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter sa résistance et par suite de donner des indications inexactes. Ce *shunt* se compose de deux barres de bronze parallèles entre lesquelles sont tendus une série de fils de maillechort.

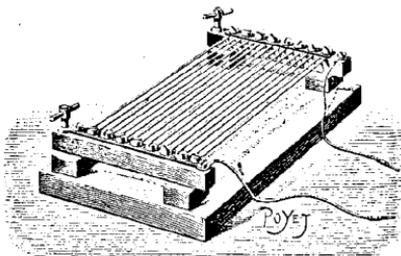


Fig. 16. — Shunt de l'ampèremètre de Marcel Deprez et d'Arsonval.

ANALOGUE. — Nom sous lequel on désigne le pôle qui, dans un corps *pyroélectrique*, devient positif quand la température s'élève et négatif quand elle s'abaisse.

ANALYSEUR. — Nom donné par M. Trébe à des plaques métalliques qui, ne touchant pas les électrodes et ne communiquant pas avec la pile, sont plongées dans une cuve électrolytique en activité, longitudinalement entre les électrodes, et servent à étudier la direction du mouvement électrolytique. (V. *REFRACTION ÉLECTRIQUE*.)

ANÉLECTRIQUE. — Qui ne peut conserver les propriétés électriques.

ANÉLECTRIQUES (Corps). — Nom donné autrefois à tout corps qui paraissait ne pouvoir s'électriser par frottement. Tous les conducteurs non isolés se comportaient ainsi, car l'électricité développée s'écouleait au fur et à mesure de sa production.

ANÉLECTRONOUS ou État anélectrotonique.

— Nom sous lequel on désignait autrefois l'état d'insensibilité aux effets d'un courant d'induction dans lequel se trouvait un nerf ou un muscle qui a été soumis pendant un certain temps à l'action d'un courant continu. On a reconnu que cet état est dû à une sorte de polarisation semblable à celle des accumulateurs soumis à l'action d'un courant de charge, et non à une propriété particulière du nerf ou du muscle.

ANÉMOGRAPHE. — Anémomètre enregistreur. (V. *ENREGISTREURS MÉTÉOROLOGIQUES*.)

ANÉMOMÈTRE. — Instrument destiné à faire connaître la force ou la vitesse des vents, comme les girouettes en indiquent la direction. On dit quelquefois *anémocymètre*.

Dans ces derniers temps, on a eu l'idée d'appliquer l'électricité aux *anémomètres enregistreurs*. Nous citerons en particulier l'*anémomètre enregistreur électrique* de Théodore du Moncel, qui indique, à chaque instant, la direction et la force du vent, ainsi que l'heure de l'observation.

ANÉMOMÉTROGRAPHE. — Nom donné à des anémomètres enregistreurs mécaniques ou électriques.

ANÉMOSCOPE ÉLECTRIQUE. — Appareil imaginé par M. A. Lucchesi, directeur de l'observatoire de Sainte-Agathe, à Feltre (Italie), pour transmettre d'un point quelconque à cet observatoire les huit principales directions du vent.

Les directions du vent sont signalées à l'observatoire à l'aide d'un *GALVANOMÈTRE* sensible par huit courants d'intensité différente émanant d'une même pile. Ces variations dans l'intensité du courant sont obtenues en intercalant dans le circuit de lignes des résistances artificielles et progressives. L'anémoscope établit mécaniquement huit contacts successifs disposés régulièrement sur un cadran dont le centre est traversé par l'axe de rotation de la girouette. Le premier contact correspond à l'indication Nord et forme un circuit composé de la ligne, de la pile, de la terre et des appareils. Le contact suivant, qui correspond à l'indication N.-E., forme un circuit composé des résistances précédentes et d'une résistance supplémentaire de 25 ohms; le troisième, qui correspond à l'indication E., a en plus une résistance de 30 ohms; et ainsi de suite pour les contacts suivants, à chacun desquels s'ajoutent des résistances respectives de 35, 40, 50, 65 et 90 ohms. Le galvanomètre qui reçoit les indications porte un cadran divisé en neuf divisions. La neuvième permet de contrôler la force électromotrice et l'état des piles. Pour cela on enlève du circuit les résistances et on ferme la pile sur elle-même à travers le galvanomètre. Le cadran du galvanomètre est mobile, afin qu'on puisse le déplacer et rectifier ainsi les erreurs qui pourraient se produire

dans les indications des vents lorsque la force électromotrice de la pile est devenue trop faible. Cet appareil, bien que présentant certains inconvénients, est fort simple et peut rendre des services lorsque la distance n'est pas supérieure à 2 ou 3 kilom. et qu'il est impossible d'établir une transmission mécanique. (Extrait de l'*Electricité*.)

ANION. — Corps qui, dans une décomposition électrolytique, se porte au POLE POSITIF.

ANNEAUX ÉLECTRIQUES. — Anneaux produits par l'électricité. Les anneaux colorés dus à l'électricité sont de deux espèces : ceux qui sont produits par l'électricité statique, et ceux qui proviennent de l'électricité dynamique. Les premiers sont dits *anneaux de Priestley*, et les seconds, *anneaux de Nobili*, du nom des savants qui les observèrent les premiers.

Priestley, en faisant passer des décharges électriques à travers une plaque métallique, vit se produire sur cette plaque des anneaux concentriques colorés. Ces anneaux étaient formés de points brillants et de petites cavités présentant des indices de fusion, et les intervalles qui les séparaient étaient recouverts d'une poussière noire non adhérente.

Les anneaux de Priestley s'expliquent par l'action calorifique de l'électricité. Les métaux les plus fusibles donnent généralement le plus grand nombre d'anneaux avec la même décharge.

Les anneaux de Nobili sont dus à l'action chimique de la pile sur telle ou telle dissolution saline dont est recouverte une plaque métallique. Ils s'obtiennent en promenant sur cette plaque l'extrémité d'un aérophone. Formés par un dépôt d'oxyde ou de métal quand la plaque communique avec le pôle négatif, ils ont pour cause, quand elle est en rapport avec le pôle positif, une altération de la surface par les acides. Ils sont souvent clairs et foncés alternativement. Quand on emploie une dissolution d'acétate de plomb, ils présentent les couleurs de l'arc-en-ciel. Un grand nombre d'expériences ont été faites avec des dissolutions de divers sels, ou de substances animales et végétales. Les matières organiques donnent généralement les plus belles couleurs. Nobili avait donné aux anneaux qui portent son nom celui d'*apparences électro-chimiques*.

De très curieuses imitations de ces phénomènes ont été effectuées avec des jets d'eau par M. Decharme. (V. Analogie entre les phénomènes électriques et hydro-dynamiques, *Lum. électr.*, n° du 11 août 1883.)

ANNEAU DE GARDE. — Disposition adoptée par sir William Thomson dans son électromètre absolu pour éviter les corrections dues à l'accroissement de densité ÉLECTRIQUE sur les bords d'un disque conducteur. (V. CONDENSATEUR.)

ANNEAUX GRAMME, PACINOTTI, etc. — On désigne sous ce nom l'*induit* de certaines machines dynamo-électriques, et cela à cause de leur forme d'anneau. (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

ANNONCIATEUR. — Nom pouvant s'appliquer à la plupart des AVERTISSEURS et des INDICATEURS, mais qui, en fait, est plus spécialement employé pour désigner les appareils indiquant les appels dans les installations téléphoniques. (V. INDICATEURS TÉLÉPHONIQUES.)

ANODE. — Electrode positive. Galvanop. Surface métallique placée au pôle positif de la pile, et qui devient une électrode soluble quand

le bain contient le même métal en dissolution : On *attache au pôle positif de la pile une ANODE, c'est-à-dire une lame d'argent, si l'on agit sur un sel d'argent.*

La surface de l'anode doit être, en général, égale à la surface de la CATHODE où se dépose le métal.

ANSE GALVANIQUE. — Appareil employé pour l'ablation de membres, tumeurs, etc. (V. GALVANOCAUSTIQUE, THERMIQUE et CHIMIQUE.)

ANTILOGUE. — Nom donné au pôle qui, dans un corps PYROÉLECTRIQUE, devient négatif quand la température s'élève et positif quand elle s'abaisse.

ANTOZONE. — Nom donné par Schönbein à l'ozone positif. Ce savant, dans sa théorie sur la formation de l'ozone, admettait qu'il se compose de deux éléments constitutifs : l'ozone positif ou antozone et l'ozone négatif.

APÉRIODIQUE. — On dit qu'un instrument de mesure électrique (galvanomètre, boussole, etc.) dont les indications sont données par la déviation d'une aiguille est *apériodique* lorsque cette aiguille prend rapidement, sans osciller, sa position d'équilibre sous l'action d'un courant et revient rapidement à sa position initiale (au zéro de la graduation) lorsque le courant cesse.

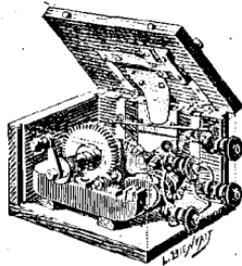
APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES. — (V. TÉLÉGRAPHIE.)

APPAREILS MÉDICAUX. (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.)

APPAREILS TÉLÉPHONIQUES. — (V. TÉLÉPHONE et TÉLÉPHONIE.)

APPARENCES ÉLECTRO-CHIMIQUES. — Nom donné par Nobili aux ANNEAUX dus à l'action chimique de la pile. (V. ANNEAUX DE NOBILI.)

APPEL PHONIQUE. — Nom donné à un petit appareil magnéto-électrique imaginé par M. Sieur pour remplacer les avertisseurs à anche employés dans certains instruments comme moyen d'appel de téléphone et qui sont insuffisants.



Appel phonique Sieur. (De Branville.)

Cet appareil magnéto-électrique est à courants alternatifs de haute tension et de courte durée ; c'est-à-dire dans les conditions voulues pour actionner fortement la membrane d'un téléphone. Il se compose, comme le montre la figure ci-dessus, d'un fort aimant recourbé, dont les pôles sont terminés par deux

noyaux de fer doux, montés en retour d'équerre et recouverts chacun d'une bobine de fil fin. Entre les extrémités de ces noyaux passe une roue phonique, ou disque en cuivre, qui porte dans le voisinage de sa périphérie une série de petites entailles, exactement occupées par autant de barreaux de fer doux; cette roue est munie d'un pignon commandé par une roue dentée, qui est actionnée elle-même au moyen d'une manivelle.

Lorsqu'on imprime à ce système un mouvement de rotation, les barreaux viennent successivement se présenter presque au contact des deux noyaux polarisés des bobines pour s'en écarter ensuite, et chacun de ces passages rapides est marqué par la naissance de deux courants d'induction successifs et de sens contraire. Les courants alternatifs ainsi obtenus, se répétant à des intervalles très rapprochés, produisent un mouvement vibratoire bien accentué des membranes des téléphones intercalés dans le circuit, et, par suite, un son assez intense pour être distinctement entendu à plusieurs mètres du poste.

Un COMMUTATEUR sert : 1° pendant les périodes d'attente et de conversation, à maintenir les téléphones dans le circuit et l'appareil d'appel hors du circuit téléphonique; 2° pendant la durée d'un signal, à couper, au contraire, les téléphones du circuit pour y substituer l'appel phonique du poste attaquant. Le jeu de cet organe a donc pour effet d'éliminer, dans les deux cas, des résistances passives qui diminueraient le rendement des appareils récepteurs.

Arago (Dominique-François), l'un des plus illustres savants du XIX^e siècle, naquit le 26 février 1786 à Estagel (Pyrénées-Orientales). Son père occupait, à Perpignan, l'emploi de caissier de la Monnaie. Il fit ses études au collège de Perpignan, et il les termina de très bonne heure, puisqu'à l'âge de dix-sept ans il fut admis à l'École polytechnique, où il fut le premier élève qui donna un vote négatif pour le consulat à vie. Au sortir de cette école, il fut attaché en qualité de secrétaire au bureau des longitudes; en 1806 il fut recommandé par le célèbre Monge à l'empereur, qui l'adjoignit à M. Biot, chargé, avec deux commissaires espagnols, MM. Chaix et Rodriguez, d'achever la mesure de l'arc du méridien terrestre. Cette opération géodésique, qui a servi de base au système métrique, avait été commencée par Delambre et Méchain, et fut continuée jusqu'aux îles Baléares par les deux jeunes savants. Mais elle fut pour eux, pour Arago surtout, une longue odyssée de fatigues, de dangers et de vicissitudes. Au mois d'août 1807, les plus importantes opérations étant terminées, M. Biot repartit pour Paris, laissant à son jeune associé le soin d'achever les travaux qui restaient à faire, lorsque la guerre éclata entre la France et l'Espagne.

Poursuivi par les Majorquins, qui le prenaient pour un espion, Arago se déguisa en paysan, parvint à préserver ses instruments et ses précieux papiers, fut recueilli sur un navire espagnol, dont le capitaine le sauva de la fureur populaire en l'enfermant dans la chaudière de Delver (Palma), où il continua tranquillement ses calculs. Il obtint enfin de se rendre à Alger, mais fut pris à son retour par un corsaire espagnol, enfermé au fort de Rosas et sur les pontons de Palamos, et ne put regagner la France qu'après une nouvelle série d'aventures et d'infortunes. De nobles sympathies l'accueillirent à son retour. L'Académie des sciences, contrairement à ses règlements, le reçut dans son sein, à l'âge de vingt-trois ans, et l'empereur le nomma professeur d'analyse et de géodésie à l'École polytechnique, fonctions qu'il exerça pendant vingt ans, tout en continuant des études fécondes

pour la science et qui fondèrent la popularité de son nom. L'empereur lui témoigna toujours la plus honorable estime. Lorsqu'il songeait, après le désastre de Waterloo, à se rendre aux États-Unis pour finir paisiblement ses jours dans l'étude des sciences, il eut un moment l'intention de choisir Arago pour compagnon d'exil et de travail. Quoique déjà professeur à l'École polytechnique, Arago était devenu directeur de l'Observatoire, où il fit des cours d'astronomie, restés célèbres par leur admirable clarté, et qui avaient pour auditeurs assidus les savants les plus distingués, français et étrangers, en même temps que des personnes étrangères aux sciences.

En 1830, Arago remplaça Fourier comme secrétaire perpétuel de l'Académie pour les sciences mathématiques; depuis lors, jusqu'à la fin de sa carrière, il prononça, en cette qualité, au sein de l'Académie, des éloges de savants, tels que Bailly, Condorcet, Fourier, Ampère, etc., et ces éloges sont presque tous des chefs-d'œuvre de style et d'exposition scientifique. Sa réputation s'était répandue dans toute l'Europe savante; il appartenait à toutes les académies, et était lié d'amitié avec les Humboldt, les Melloni, les Faraday, les Brewster, etc.

Après 1830, il entra à la Chambre comme député des Pyrénées-Orientales. Il siégea à l'extrême gauche, et rendit de grands services par les lumières qu'il répandit dans les discussions sur les questions de marine, de canaux, d'instruction publique, de chemins de fer, etc. Républicain convaincu, il soutint constamment la cause des libertés publiques, la réforme électorale et les opinions les plus radicales. Lorsque le trône de Juillet s'éroula, en février 1848, Arago fut porté par l'acclamation populaire au gouvernement provisoire, qui le chargea de diriger les ministères de la Marine et de la Guerre. Il prit part à tous les événements de cette grande époque, siégea parmi les membres modérés du gouvernement, combattit, mais toujours respecté par les républicains les plus ardens, fit partie de la commission exécutive nommée par l'Assemblée constituante, et marcha à la tête des troupes dans les sanglantes journées de Juin. Cependant, tant de lutttes et de secousses avaient brisé son énergie physique et morale, et il siégea muet et abattu sur les bancs de l'Assemblée législative. Arago mourut le 2 octobre 1853.

Comme savant, Arago a fait un assez grand nombre de découvertes, utiles et ingénieuses, mais qui n'auraient cependant pas suffi à établir et à répandre la popularité vraiment rare attachée à son nom, sans le remarquable talent qu'il avait d'exposer la science avec clarté et attrait, et sans l'ardeur qu'il mettait à la vulgariser. Il était parvenu à démontrer l'astronomie à des auditeurs n'ayant aucune notion des mathématiques. L'optique, dont la connaissance sert de base à toutes les observations astronomiques, fut l'étude de prédilection d'Arago. Il adopta et propagea la *Théorie des ondulatoires*, théorie qui compare les phénomènes lumineux à ceux du son, et qui les explique par la transmission, à travers l'éther, des mouvements vibratoires dont seraient animées les molécules des corps doués de lumière. Il construisit un *photomètre* qui permet de mesurer les intensités lumineuses des astres et donne des résultats photométriques plus certains que ceux tirés des lumières artificielles. C'est à Arago qu'est due l'explication la plus généralement admise de la *scintillation des étoiles*, tirée du principe des interférences, découvert par Young. — En astronomie, il parvint à déterminer avec une plus grande exactitude le diamètre des planètes, en déduisant l'effet de l'irradiation. — La science de l'électro-magnétisme, née en 1819 d'une observa-

tion d'Oersted, est en partie redevable à Arago de la rapidité de ses progrès. Ayant fait osciller une aiguille aimantée, d'abord sur une plaque de cuivre, puis sur des plaques de différentes substances, il remarqua que l'amplitude des oscillations décroissait très rapidement sur la plaque de cuivre, et plus rapidement sur les plaques métalliques que sur les autres. Si donc une plaque métallique en repos finit par arrêter les oscillations d'un aimant, ne doit-elle pas l'entraîner et le faire tourner, étant mise elle-même en mouvement ? Les nombreuses expériences d'Arago répondirent affirmativement à cette question et donnèrent naissance au MAGNÉTISME DE NOUVEAU, belle découverte qui valut à son auteur la médaille d'or de Copley, décernée par la Société royale de Londres. — Enfin, de concert avec Dulong, Arago entreprit, sur les tensions de la vapeur d'eau, une série d'expériences qui le conduisirent à soumettre à une vérification complète la loi dite de Mariotte sur la compression des gaz.

Les œuvres complètes d'Arago, disséminées dans les « Mémoires de l'Académie des sciences », dans les « Mémoires de la Société d'Arcueil », dans les *Annales de physique et de chimie*, dont il fut un des fondateurs, et dans « l'Annuaire du bureau des longitudes », ont été réunies en 1856-57 par M. Barral. Elles forment 14 volumes, dont la partie principale est l'*Astronomie populaire*.

ARAIGNÉE DE FRANKLIN. — Appareil servant à montrer l'attraction et la répulsion électriques. (V. CAILLON ÉLECTRIQUE).

ARC VOLTAÏQUE. — Courbe lumineuse, formée par le passage d'un courant énergique entre deux électrodes conductrices séparées par un intervalle plus ou moins grand. (V. ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE et RÉGULATEUR.)

L'arc voltaïque a été obtenu pour la première fois en 1813 par le savant anglais sir Humphry Davy, au moyen de conducteurs en charbon de bois mis en communication avec une pile de Volta de 2.000 couples. Mais ce n'est que depuis l'année 1844, grâce aux recherches et aux découvertes successives de Léon Foucault, que cette puissante lumière a reçu des applications pratiques. Au charbon de bois ce physicien substitua des baguettes de charbon de corne.

Quand on examine les conducteurs entre lesquels jaillit l'arc voltaïque, on remarque que le charbon correspondant au pôle positif se creuse, tandis que le charbon qui correspond au pôle négatif augmente. On en conclut que les molécules du charbon du premier pôle se transportent sur le second. Dans l'air, et par suite de ce transport, le charbon positif s'use environ deux fois plus rapidement que le charbon négatif si l'on emploie comme générateur d'électricité une PILE ou une machine DYNAMO-ÉLECTRIQUE à courant continu ; l'usage des deux charbons est égal et régulier si l'on a recours aux machines à courants alternatifs.

L'arc lui-même est peu éclairant, mais extrêmement chaud. Il porte à une très haute température les deux points de charbon entre lesquels il jaillit, ce qui détermine une vive incandescence.

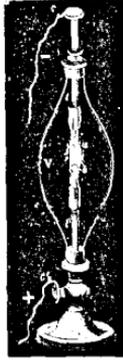
La RÉSISTANCE de l'arc voltaïque diminue avec l'INTENSITÉ du courant : d'après M. Pecece, pour un courant de 10 AMPÈRES, la résistance est de 2,77 ohms, tandis qu'elle n'est plus que de 1,07 ohm pour un courant de 21,5 ampères et enfin de 0,54 ohm pour un courant de 30,12 ampères.

La lumière fournie par l'arc est sensiblement pro-

portionnelle à l'intensité du courant, et non à son carré comme avec l'INCANDESCENCE.

On trouvera facilement l'explication de ce fait dans le phénomène suivant :

M. Joubert, faisant des expériences sur une bougie Jablochhoff, constata qu'elle s'éteignait lorsque l'in-



Arc voltaïque.

lensité du courant tombait au-dessous de 5 ampères, et que les charbons rougissaient sur toute leur longueur lorsqu'elle atteignait 11 ampères.

Entre ces limites, il trouva qu'il régnait entre les deux charbons une différence de POTENTIEL sensible-ment constante, égale à environ 45 volts.

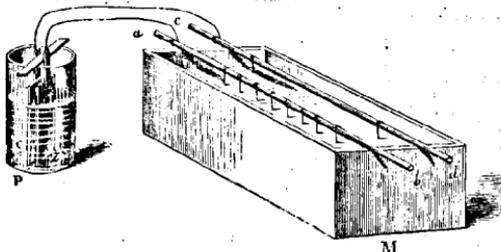
Cette différence de potentiel étant indépendante de l'intensité, il fallait qu'elle fût occasionnée, non pas par la résistance d'ailleurs très faible de l'arc, mais par une véritable FORCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE développée par une polarisation des électrodes analogue à celle des électrodes d'un VOLTMÈTRE, et occasionnée par le transport de matière qui s'opère constamment d'un pôle à l'autre.

Si l'arc est produit dans un CHAMP MAGNÉTIQUE soumis aux mêmes variations que le courant, et dont la direction soit normale au plan des charbons, comme dans la bougie Jamin, la chute de potentiel est plus grande que dans le cas ordinaire et croît avec l'intensité du champ.

On sait qu'un arc électrique constitue une véritable portion de circuit mobile avec lequel on peut reproduire toutes les expériences d'Ampère sur les actions des AIMANTS et des COURANTS.

ARGENTURE GALVANIQUE. — L'argenture galvanique a détrôné presque définitivement les anciens modes d'argenture. Ce procédé s'applique particulièrement aux couverts et aux pièces d'orfèvrerie de table fabriqués en maillechort, allié, etc. ; il est fondé sur les propriétés des bains galvanoplastiques (V. GALVANOPLASTIE), et consiste à suspendre les pièces à argenter, préalablement décapées, dans un bain convenablement préparé. Les pièces sont fixées à des crochets qui émanent de l'extrémité du fil négatif de la pile ; des feuilles d'argent sont placées au fil positif c. Le bain d'argent contient : pour 100 grammes d'eau distillée, 10 grammes de cyanure de potassium et

4 gramme de cyanure d'argent; il est maintenu à 15° ou 20° centigrades, et, par l'action du courant électrique fourni par une pile ou par une machine dynamo-électrique, l'argent se dépose sur les pièces métalliques. On emploie habituellement 60 à 90 grammes d'argent pour 12 couverts. Après l'argenteure au bain, il faut plonger les pièces dans une solution de borax, les



Bain galvanoplastique.

chauffer au rouge sombre, les immerger dans une solution faible d'acide sulfurique, enfin les sécher, les grattoyer et les polir au brunissoir. Ce procédé a été découvert simultanément en Angleterre par Elkington et en France par Ruolz, en 1840. Ils s'associerent pour exploiter leurs brevets. En 1842, les deux inventeurs obtinrent le prix de 12.000 francs fondé par Montyon pour l'assainissement des arts insalubres.

ARMATURE. — Ce mot a les significations indiquées ci-après.

Armature d'un aimant — Pièce de fer doux que l'on place au contact des AIMANTS naturels

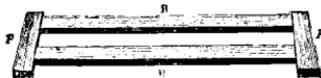


Fig. 1.— Barreaux aimants, munis de leurs armatures.

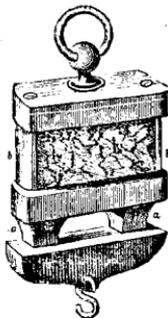


Fig. 2. — Vue d'un aimant naturel A, muni de son portant ou armature.

ou artificiels, afin de conserver ou d'augmenter leur FORCE MAGNÉTIQUE. (On dit aussi ARMURE.)

La force des aimants peut s'alléger avec le temps, soit par les chocs qu'ils peuvent recevoir, soit par des changements de température, soit enfin par l'action terrestre. Pour leur conserver toute leur force, Knight a imaginé de les conserver par paires, dans une même boîte, en les plaçant parallèlement, à une certaine distance l'un de l'autre, de manière que

les pôles opposés soient tournés du même côté (fig. 1). Aux extrémités sont adaptés de petits barreaux en fer doux *p, p*, qui se nomment armatures ou armures. Ces armatures s'aimantent au contact et par l'influence des aimants *s, s*, puis exercent à leur tour une influence qui conserve la force de ces mêmes aimants en empêchant le FLUIDE NEUTRE de s'y recomposer. Grâce à l'emploi des armatures, on a pu non seulement conserver, mais encore augmenter la force des aimants en utilisant en même temps les deux pôles opposés d'un système de barreaux aimants, ou même d'un seul barreau

recourbé en fer à cheval. L'armature sur laquelle portent ces deux pôles *a, a* a reçu le nom de PORTANT, parce qu'on y suspend la charge (fig. 2). Les aimants en fer à cheval portent beaucoup plus que le double de la charge que porterait un de leurs pôles; c'est qu'il se fait dans le portant, sous l'action des deux pôles réunis, une décomposition magnétique qui réagit ensuite pour augmenter la puissance de l'aimant.

Le rôle des armatures est de la plus grande importance dans la détermination des CHAMPS MAGNÉTIQUES.

Armature d'un condensateur. — Pièce métallique des condensateurs électriques.

Armature extérieure. — Feuille d'étain qui revêt, à l'extérieur, la bouteille de Leyde.

Armature intérieure. — Feuilles d'or ou de clinquant de cuivre qui garnissent l'intérieur d'une bouteille de Leyde.

Armature d'un câble. — On désigne aussi sous le nom d'armature ou d'armure la cuirasse dont on revêt les CABLES sous-marins pour les protéger contre leurs nombreux ennemis et assurer leur résistance mécanique contre les efforts auxquels ils sont soumis dans la manutention ou pendant la pose, et contre ceux auxquels ils doivent pouvoir résister une fois qu'ils sont en place.

Armstrong (sir William), ingénieur anglais, né à Newcastle-on-Tyne en 1810. Son père, alderman de la ville, le destinait au barreau; mais son goût pour la mécanique lui fit promptement abandonner l'étude des lois. La création de diverses machines hydrauliques mit en lumière son génie inventif, et il devint bientôt associé des usines d'Elswick, près de sa ville natale. Peu après, il inventa une MACHINE HYDRO-ÉLECTRIQUE. En 1816, ses études se dirigèrent vers l'artillerie rayée; et, en 1854, il présenta au duc de Newcastle, alors ministre de la Guerre, les plans d'un canon rayé se chargeant par la culasse. En 1858, ce canon fut adopté pour l'usage de l'artillerie anglaise. La construction des navires de guerre cuirassés porta l'inventeur, en 1861-1862, à faire de nombreuses expériences sur la pénétrabilité des blindages en fer.

Sir William Armstrong est, depuis 1858, ingénieur

en chef du ministère de la Guerre et directeur de la fonderie du gouvernement à Woolwich, ce qui ne l'empêcha pas de fabriquer un grand nombre de ses canons à son usine d'Elswick. Il est membre de la Société royale des Ingénieurs, et il fait partie du conseil de l'Institut des ingénieurs civils, à Londres. Il a été créé baronnet en 1859.

ARMURE. — Synonymes d'ARMATURE. (V. ce mot.)

ARROSOIR ÉLECTRIQUE. — Appareil propre à manifester les répulsions mutuelles des différentes parties de l'eau électrisée. C'est un vase métallique percé de trous, dans lesquels sont engagés des ajutages à orifices capillaires, qui laissent échapper goutte à goutte l'eau qu'il contient. Si l'on suspend ce vase à une machine électrique, l'eau s'électrise, et les gouttes, au moment où elles sortent, se brisent en gouttelettes fines qui forment un jet divergent, comme si chaque ajutage se terminait par une pomme d'arrosoir.

ASCENSEUR ÉLECTRIQUE. — A l'exposition industrielle de Mannheim, en 1880, M. Siemens avait installé un ascenseur dont le système reposait sur le principe de la transmission électrique de la force à distance. Comme une MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE est d'un poids faible comparativement au travail qu'elle est capable de produire, on a pu en placer une sur la plate-forme même qu'elle devait mettre en mouvement, et le courant était amené à cette machine par des fils qu'elle entraînait avec elle. La plate-forme, qui servait à monter le public au sommet d'une tour de 20 mètres de hauteur, se mouvait le long d'une crémaillère constituée par une sorte d'échelle d'acier dont les montants étaient formés de trois lames d'acier de 0^m,005 d'épaisseur sur 0^m,060 de largeur, rivées entre elles et réunies par des échelons cylindriques de 0^m,015 de diamètre, et éloignés les uns des autres de 0^m,035. Cette échelle, que l'on aurait pu rendre beaucoup plus solide si on l'avait voulu, était fixée au haut et au bas de la tour à de fortes poutres qui la maintenaient parfaitement verticale. La transmission du mouvement s'effectuait par l'intermédiaire de deux roues dentées engronant des deux côtés avec les échelons de la crémaillère et actionnées par une vis sans fin adaptée à l'axe du moteur. Un commutateur à manette fixé sur la plate-forme permettait, suivant la position qu'on lui donnait, de faire monter ou descendre le véhicule et de l'arrêter.

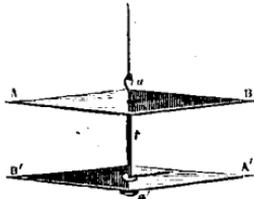
L'opération était facilitée par un équilibrage préalable du système au moyen d'un contre-poids, et les cordes métalliques affectées à cet équilibrage constituaient en même temps les conducteurs du courant. Comme la liaison du véhicule avec l'échelle était effectuée par l'intermédiaire d'une vis sans fin à pas assez serré, l'arrêt du moteur ne présentait aucun danger, car la chute ne pouvait être que très lente. Du reste, pendant les quelques semaines que cet ascenseur a été exposé à Mannheim, il a transporté au sommet de la tour, et sans dérangement aucun, environ 8.000 personnes. La vitesse d'ascension était à peu près de 0^m,50 par seconde. L'installation de ce système est, dit-on, peu coûteuse et son exploitation peu onéreuse.

ASSOCIATION DES PILES. — On désigne ainsi le mode de réunion des éléments d'une pile. (V. ACCOUPLEMENT.)

ASTATIQUE. — Se dit d'un système d'aiguilles al-

mantées, disposé de telle sorte que l'action de la terre soit sans influence sur lui.

On a quelquefois besoin de neutraliser l'action directrice de la terre sur une aiguille aimantée; on y arrive en opérant comme suit. On disposera une aiguille ou un barreau aimanté au-dessous de l'aiguille, dans le plan du méridien magnétique, de manière que les pôles de noms contraires soient superposés. En faisant



Système astatique.

varier convenablement la distance de ces deux aiguilles, on arrivera à neutraliser totalement ou en partie l'action de la terre.

Le système ainsi formé prend le nom de système astatique. Il faut, bien entendu, que les deux aiguilles possèdent à peu près la même aimantation.

L'usage le plus fréquent de ce système est son application à l'augmentation de sensibilité des GALVANOMÈTRES.

ATMOSPHÈRE ÉLECTRIQUE. — Étendue dans laquelle se manifeste l'influence des corps électrisés.

ATMOSPHÉRIQUE (Électricité). — L'ÉLECTRICITÉ est répandue dans l'atmosphère en quantité plus ou moins grande et joue un rôle important dans la plupart des phénomènes météorologiques. On constate sa présence à l'aide d'instruments appelés ÉLECTROSCOPES, et on l'étudie à l'aide d'ÉLECTROMÈTRES.

« On constate que, lorsque le temps est serein, l'air est toujours électrisé positivement. La TENSION est à peu près nulle jusqu'à 1 mètre de hauteur, mais elle augmente à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère.

« La charge électrique de l'air dans le voisinage de la terre varie aux différents instants de la journée; elle atteint sa valeur maxima environ deux heures après le lever du soleil et deux heures après son coucher, et sa valeur minima deux heures avant le lever du soleil et deux heures avant son coucher. On explique ces variations de l'état électrique de l'air par la formation de la vapeur d'eau à la surface de la terre. La vapeur s'élevant le matin rend l'atmosphère conductrice; les couches supérieures se trouvant électrisées positivement communiquent leur électricité aux couches inférieures. Plus tard, l'air se dessèche sous l'action des rayons calorifiques du soleil et ne peut plus soutenir l'électricité des couches supérieures; on doit donc observer un minimum vers la fin de la journée. Au commencement de la nuit, la vapeur d'eau redescend vers la terre, en amenant de nouveau de l'électricité ce qui donne lieu à un deuxième maximum. Enfin, avant le lever du soleil, la vapeur d'eau s'étant précipitée à la surface de la terre, y a déposé son électricité positive, et l'air se trouve peu électrisé. L'air étant électrisé positivement agit par influence sur les couches terrestres, qui se chargent d'électricité contraire; le sol est donc, en général, électrisé négativement.

« Les électricités contraires de l'atmosphère et de la terre sont maintenues séparées par la faible conductibilité de l'air qui les empêche de se combiner, à moins que la tension n'augmente, ce qui arrive pendant les orages. » (Blavier, *Cours théorique et pratique de Télégraphie électrique*.)

On ne sait pas exactement comment prend naissance l'électricité atmosphérique; on pense que la végétation, l'évaporation de l'eau, etc., contribuent à sa production, M. de La Rive et plusieurs autres savants ont émis l'opinion que l'électricité atmosphérique était la conséquence des grands phénomènes naturels qui s'opèrent au sein de la terre, au point de jonction de la partie déjà solidifiée et de celle encore incandescente. Suivant eux, les actions chimiques qui se produisent en cet endroit engendreraient de l'électricité positive qui, entraînée par l'évaporation, s'élève dans les hautes régions de l'atmosphère, surtout aux environs de l'équateur où cette évaporation est la plus active.

Enfin, pour compléter cette théorie, ils ajoutent que les courants qui règnent de l'équateur aux pôles entraînent l'électricité positive dans nos climats et vers les contrées polaires.

Lorsque la tension de l'électricité contenue dans deux nuages chargés d'électricités contraires est assez forte pour vaincre la résistance de l'air, une étincelle éclate entre ces deux nuages et produit le phénomène que l'on désigne sous le nom d'éclair. La décharge se produit souvent entre un nuage et la terre. Le bruit qui accompagne l'éclair et qui forme la tonnerre provient de la vibration de l'air mis en mouvement par la décharge électrique. (V. aux mots TONNERRE et ORAGES, les diverses théories émises pour expliquer ces phénomènes.)

Voici l'analyse d'un travail récent de M. Pellat. Dans une étude publiée en avril 1885 par le « Journal de physique », ce physicien a montré qu'il suffirait, pour expliquer les phénomènes électriques dont notre atmosphère est le siège, d'admettre que, suivant une ancienne hypothèse de Peltier, le sol est recouvert normalement d'une couche d'électricité négative.

La terre, lors de sa formation, aurait reçu cette couche d'électricité négative et ne pourrait la perdre, puisqu'elle est parfaitement isolée dans l'espace.

Sa densité doit être très faible. En effet, il résulte des expériences de Thomson et de Joule, à Aberdeen, que la variation de POTENTIEL V par centimètre de l'altitude u est de 0,0045 unité électro-statique. En vertu de la relation

$$\frac{dV}{du} = -4\pi\rho,$$

on en conclut, pour la densité électrique ρ du sol,

$$\rho = -\frac{1}{4\pi} \frac{dV}{du} = -\frac{0,0045}{4\pi} = -0,00036.$$

La pression électrique étant donnée par la relation

$$P = 2\pi a^2$$

on a :

$$P = 2\pi \times (0,00036)^2 = 0,00000087 \text{ DYNES}$$

par centimètre carré.

Cette pression par centimètre carré est moindre que le poids d'un millionième de milligramme. On voit que cette action est insignifiante par rapport à celle de la pesanteur, et on ne saurait constater directement l'existence de cette couche d'électricité.

Mais, en général, l'expérience montre que le potentiel augmente au fur à mesure qu'on s'élève dans

l'atmosphère. Il faut en conclure que la surface de la terre présente un excès d'électricité négative.

Il en résulte que les couches d'air voisines du sol doivent être chargées aussi d'électricité négative. Voici pourquoi : souvent un nuage se forme assez près du sol pour être en communication électrique avec lui. Il se charge donc d'électricité négative sur sa périphérie, l'emporte avec lui lorsqu'il s'élève, et l'abandonne à l'air lorsqu'il s'évapore.

Si l'air est chargé d'électricité négative, la valeur du champ électrique $\frac{dV}{da}$ augmente avec l'altitude.

Or, on a loi, les surfaces de niveau pouvant être assimilées à des plans, d'après le théorème de Poisson, et en appelant ρ la densité au point considéré de l'atmosphère

$$\frac{d^2V}{da^2} = -4\pi\rho.$$

Si la densité ρ est négative, la dérivée $\frac{d^2V}{da^2}$ de la valeur du champ $\frac{dV}{da}$ par rapport à l'altitude étant positive, cette valeur est croissante.

L'expérience démontre qu'il en est généralement ainsi.

Nous allons voir que :

1^o Si l'air est électrisé négativement, ce qui doit être le cas général, son influence s'ajoute à celle du sol pour produire une électrisation plus forte des nuages;

2^o Si l'air n'était pas électrisé, la couche d'électricité négative répandue à la surface du sol serait, malgré sa faiblesse, suffisante pour électriser par influence les nuages et produire des orages électriques.

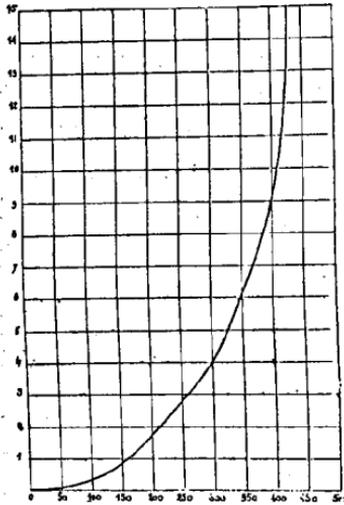
Un conducteur placé dans un champ électrique comme celui de l'atmosphère, dans lequel les potentiels vont en croissant avec l'altitude, est nécessairement électrisé par influence. En effet, si on considère la région A qui sépare la partie électrisée positivement de celle qui l'est négativement, cette région est au même potentiel que les couches d'air qui sont en contact avec elle. Alors les parties du conducteur qui sont au-dessus de A, étant à un potentiel V inférieur à celui des couches d'air voisines, se sont électrisées négativement, tandis que les parties qui sont au-dessous de A, étant à un potentiel V' supérieur à celui des couches d'air voisines, sont électrisées positivement.

Si maintenant l'air n'est pas électrisé, nous avons vu que le champ électrique de l'atmosphère possède partout la même valeur que près du sol, et la densité électrique de celui-ci est reliée à ce champ par la formule $\frac{dV}{du} = -4\pi\rho$. Puisqu'il existe entre la valeur du champ et la densité électrique du sol une dépendance absolue, on peut considérer le champ comme créé par la présence de la couche électrique du sol et dire que c'est celle-ci qui, par influence, électrise le conducteur.

La valeur de ce champ est connue, du reste, par l'observation : elle est très variable; mais, pour fixer les idées, admettons, ce qui est souvent au-dessous de la vérité, que le potentiel croît d'une unité électro-statique CGS par mètre d'élévation en altitude.

Un nuage est un corps assez conducteur pour que son potentiel soit sensiblement constant dans toute son étendue. Si donc un nuage vient à prendre naissance dans un ciel primitivement pur, il est forcément électrisé, positivement en bas, négativement en haut. Qu'un coup de vent vienne à séparer sa partie supérieure de sa partie inférieure, voilà deux nuages chargés d'électricités contraires.

Lorsque ces deux nuages s'éloignent l'un de l'autre, sans même changer d'altitude, leurs potentiels deviennent différents. Mais cette différence de potentiels peut devenir considérable si le nuage supérieur s'abaisse et si le nuage inférieur s'élève. En effet, ceux-ci subissent une variation de potentiel à peu près égale à la différence de potentiels des couches entre lesquelles se produit le mouvement, c'est-à-dire que, avec le nombre admis plus haut, le potentiel du nuage négatif va diminuer, et le potentiel du nuage positif va augmenter d'une unité par mètre de variation d'altitude. Supposons que cette variation d'altitude soit de 500 mètres par nuage : c'est une différence de



1.000 unités électro-statiques CGS qui, par ce seul fait, se produit entre eux. Or, il arrive souvent, pendant les temps d'orage, que les nuages éprouvent des déplacements verticaux bien supérieurs à 500 mètres; d'autre part, le nombre admis pour la valeur du champ (une unité par mètre) est souvent dépassé près de la surface du sol; enfin, si l'air est électrisé négativement, la valeur du champ magnétique est plus grande dans les régions élevées que près du sol.

Ainsi, sous l'influence des simples causes que nous venons de signaler, des nuages chassés par les vents violents d'un orage et enveloppés par un air isolant pourraient acquies des différences de potentiel de plusieurs milliers d'unités électro-statiques.

Nous allons voir qu'il n'en faut probablement pas tant pour obtenir des éclairs de quelques kilomètres de longueur.

M. Mascart a fait de très remarquables expériences sur la différence de potentiel nécessaire pour obtenir une étincelle entre deux boules.

On trouvera représentée sur la fig. ci-dessous la courbe qui résume ces expériences; les différences de potentiel exprimées en unités électro-statiques CGS, ont été portées en abscisses, et les longueurs d'étin-

celles correspondantes, exprimées en centimètres, ont été portées en ordonnées.

Cette courbe se relève rapidement et paraît présenter une asymptote correspondant à la valeur de 500 ou 600 unités de potentiel, c'est-à-dire qu'en approchant de cette valeur l'étincelle aurait une longueur tendant vers l'infini.

En admettant même que la longueur de l'étincelle ne devienne de plusieurs kilomètres que pour des différences de potentiel notablement supérieures à 500 ou 600 unités, on voit, malgré cela, que les causes indiquées ci-dessus, pouvant donner des différences de plusieurs milliers d'unités, sont bien suffisantes pour expliquer la grande longueur de l'éclair.

En résumé, pour expliquer les phénomènes électriques de l'atmosphère, il n'est pas besoin de chercher d'autres causes que la présence certaine d'une couche électrique négative à la surface du sol.

Cette couche aurait toujours existé. Si la terre, lors de sa formation, a reçu un excès d'électricité négative, elle ne peut le perdre, puisqu'elle est parfaitement isolée dans l'espace.

Mais cet excès d'électricité négative ne doit-il pas tendre à se répandre dans l'atmosphère et disparaître du sol? Or, nous avons supposé qu'il est en partie répandu dans l'atmosphère, mais en partie seulement, la pluie ramenant à chaque instant au sol l'électricité négative. Supposons, en effet, qu'un nuage se forme au milieu d'un air chargé d'électricité négative : ce nuage recueille cette électricité, et, s'il se résout complètement en pluie, les gouttelettes d'eau la ramènent au sol. Ce retour de l'électricité négative vers le sol peut se produire même si celui-ci est déjà électrisé négativement, la pesanteur triomphant de la répulsion électrique.

Les aurores boréales sont aussi des phénomènes dus à l'électricité atmosphérique.

ATTAQUE. — Appel d'un poste télégraphique ou téléphonique.

ATTAQUER. — Action d'appeler un poste télégraphique ou téléphonique.

ATTENTE. — Signal donné sur les lignes télégraphiques pour indiquer qu'on n'est pas prêt à recevoir une transmission.

ATTRACTION. — Quand Newton énonça les lois de la gravitation universelle, il dit : *Les choses se passent comme si la matière attirait la matière.* Il exprimait ainsi qu'il n'entendait faire aucune hypothèse sur la nature physique du phénomène qu'il avait étudié. Rien n'autorise encore à se départir d'une aussi sage réserve, mais nous croyons devoir développer ici une conséquence de la théorie de Franklin sur l'électricité, et qui permet de rattacher les phénomènes de la gravitation aux phénomènes d'attraction électrique.

Franklin dit (*Lettres sur l'Électricité*, 1749) : « La matière électrique est composée de particules extrêmement subtiles, puisqu'elle peut traverser la matière commune, sans que celle-ci en éprouve aucune résistance sensible. Les particules de matière électrique se repoussent l'une l'autre, mais sont fortement attirées par toute autre matière. Dans la matière commune, il y a autant de matière électrique qu'elle peut en contenir dans sa substance. Si l'on en ajoute davantage, le surplus reste sur la surface et forme ce que nous appelons une *atmosphère électrique*, et l'on dit alors que le corps est électrisé. »

Cette théorie est plus simple que celle connue sous

le nom de théorie des deux fluides et qui est due à un physicien français, Dufay. La faveur de cette dernière ne tient qu'à la commodité qu'elle donne pour le langage; mais elle ne rend pas mieux compte des faits.

Ceci posé, désignons par F l'attraction de l'unité de masse pondérable sur une masse égale située à l'unité de distance, par φ l'attraction de l'unité de masse électrique sur l'unité de masse pondérable, située à l'unité de distance, et par f la répulsion exercée par l'unité de masse électrique sur une masse électrique égale, située encore à l'unité de distance. Nous supposons que toutes ces actions varient en raison inverse du carré de la distance.

Si l'on considère un élément de volume A contenant une masse pondérable M et une masse électrique m , son action sur une masse électrique m' située à la distance r se composera de deux forces :

1° une attraction

$$\varphi \frac{Mm'}{r^2};$$

2° une répulsion

$$f \frac{mm'}{r^2},$$

dont la résultante est

$$\frac{m'}{r^2} (\varphi M - fm).$$

L'élément A sera à l'état neutre lorsque cette résultante sera nulle, c'est-à-dire lorsque l'on aura

$$\frac{m}{M} = \frac{\varphi}{f};$$

ou lorsque la quantité d'électricité que renferme le corps sera dans un rapport déterminé, et constant avec sa masse pondérable.

Si l'on considère deux éléments A et B d'un corps à l'état neutre, si M et M' sont leurs masses pondérables, il renfermeront des quantités d'électricité m et m' telles que

$$\frac{m}{M} = \frac{m'}{M'} = \frac{\varphi}{f}.$$

L'action qu'ils exercent l'un sur l'autre sera la résultante de quatre forces :

1° Action de M sur m'

$$\varphi \frac{m'M}{r^2};$$

2° — de m sur m'

$$-f \frac{mm'}{r^2};$$

3° — de M sur M'

$$F \frac{MM'}{r^2};$$

4° — de m sur M'

$$\varphi \frac{mM'}{r^2}.$$

Il vient, en remarquant que l'on a

$$\varphi \frac{m'M}{r^2} - f \frac{mm'}{r^2} = \frac{m'}{r^2} (\varphi M - fm),$$

et que

$$\varphi M - fm = a,$$

$$\phi = \varphi \frac{MM'}{r^2} + \varphi \frac{mM'}{r^2} = \frac{MM'}{r^2} \left(F + \varphi \frac{m}{M} \right) = \frac{MM'}{r^2} \left[F + \frac{a}{f} \right].$$

Cette action n'est pas nulle, bien que les deux éléments soient à l'état neutre. Elle représente l'attraction universelle.

On peut supposer F nul, et alors deux corps à l'état neutre seront encore attirés l'un vers l'autre par une force égale à

$$\frac{MM'}{r^2} \frac{a}{f}.$$

Donc, si l'on suppose que l'électricité est un fluide tel que deux particules de ce fluide se repoussent, mais soient attirées par la matière pondérable, il est inutile de supposer, pour expliquer les phénomènes de la gravitation, qu'une masse pondérable ait une action directe sur une autre masse pondérable.

ATTRACTIONMÈTRE. — Appareil destiné à mesurer la force d'attraction d'un électro-aimant. Il se compose d'un fléau de balance à deux branches inégales, lequel est monté sur un couteau; au-dessus de la petite branche du fléau, laquelle est constituée par une armature en fer doux, se trouve une plate-forme mobile dans le sens vertical; sur cette plate-forme se monte l'électro-aimant dont on veut mesurer la force d'attraction. Le long de la grande branche glisse un curseur qui exerce une pesée variant suivant sa position. C'est, en somme, une balance romaine.

AUDIOMÈTRE. — (V. SONOMÈTRE.)

AURORE BORÉALE. — Les aurores boréales sont des phénomènes lumineux produits par des décharges électriques qui sillonnent l'atmosphère. Elles se manifestent dans nos contrées par une lueur plus ou moins vive qu'on observe vers le Nord; cette lueur est bordée ordinairement par plusieurs arcs lumineux dont le sommet se trouve dans le plan du méridien magnétique et desquels s'élancent des jets brillants.

« Le phénomène, dit M. Blavier (*Cours de Télégraphie*), est infiniment plus éclatant aux environs du pôle.

« Des rayons brillants, variant continuellement de longueur et d'éclat, forment un arc lumineux qui embrasse toute une portion du ciel, et lui donnent l'apparence d'une vaste coupole étincelante. Cette immense bande de rayons, animée de mouvements divers, se replie et se développant comme une draperie, est en outre animée d'un mouvement de rotation autour de la terre. »

Une même aurore boréale s'aperçoit de points très éloignés les uns des autres; en effet, la bande de rayons lumineux forme autour du pôle de la terre un cercle de grand rayon.

Les aurores boréales, qui sont rares dans nos contrées, s'observent très souvent dans les hautes latitudes. Dans les régions polaires, les nuits sans aurores boréales sont des exceptions. Elles se manifestent surtout dans les mois de septembre, octobre, février et mars.

La production d'une aurore boréale a toujours pour effet de faire dévier l'aiguille aimantée. Cette aiguille est, pendant toute la durée du phénomène, agitée irrégulièrement.

M. de La Rive explique comme suit la production des aurores boréales :

L'électricité, transportée dans l'atmosphère aux environs de l'équateur par les courants ascendants qui élèvent les brouillards régionaux au contact de la mer, arrive dans les hautes régions et est emportée vers les pôles par les courants d'air qui règnent de l'équateur aux pôles.

Aux environs du pôle les glaces condensent les vapeurs et la pluie ramène l'électricité au sol. Il se produit donc une sorte de transport de l'électricité de

l'équateur au pôle. Quand ce mouvement est arrêté par suite de circonstances accidentelles, l'électricité s'accumule, sa tension augmente, et elle se transmet à travers l'air en produisant une lueur semblable à

celle qu'on obtient dans les cabinets de physique en faisant passer l'électricité à travers l'air raréfié.

M. de La Rive, en faisant jaillir une série d'étincelles entre le pôle d'un aimant et un cercle métalli-

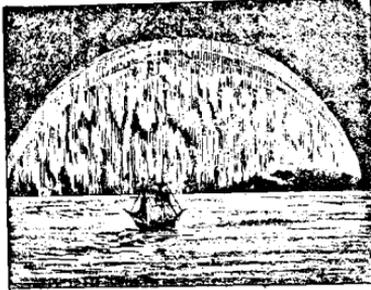


Fig. 1, 2, 3. — Auroras boréales.

que représentant l'équateur, a reproduit tous les phénomènes des aurores boréales. Le mouvement des rayons lumineux autour de la terre est dû au magnétisme terrestre.

L'apparition d'une aurore boréale a généralement pour effet de déterminer des orages magnétiques, qui nous sont révélés par les courants d'induction développés le long de nos lignes télégraphiques.

AUSTRAL (Pôle). — Nom donné au pôle d'un aimant qui se dirige vers le pôle nord de la terre, lorsque cet aimant est librement suspendu dans l'espace.

AUTO-EXCITATRICE (Machine). — MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE dans laquelle le courant continu, indispensable pour aimanter les inducteurs, est fourni par une excitatrice montée sur le même axe que la machine principale, ou par une partie du courant induit, que l'on redresse à cet effet.

AUTO-INDUCTION. — Synonyme de SELF-INDUCTION. (V. ce mot.)

AUTORÉGULATION. — (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

AVERTISSEURS. — Appareils électriques employés pour transmettre en certains points un nombre restreint d'avis ou de signaux, généralement concrets.

Ces appareils sont aujourd'hui fort employés pour l'exploitation des chemins de fer : on en distingue des types très nombreux et très variés ; nous citerons, à titre d'exemples :

1° Les appareils de correspondance à guichets. — Ce sont des appareils analogues aux tableaux placés dans les antichambres des grandes administrations et des hôtels. Le fonctionnement de ces tableaux est basé sur l'action d'un électro-aimant E sur une tige aimantée t portant un voyant avec inscription (fig. 1).

Lorsque le courant envoyé par le poste expéditeur est positif, la tige oscillante est attirée par le pôle de nom contraire de l'électro-aimant ; lorsque le courant est négatif, la tige se meut dans le sens opposé et vice versa, de sorte que la tige oscillante va se fixer à l'un ou l'autre pôle de l'électro-aimant suivant le sens du dernier courant émis. Les deux postes en correspondance sont généralement munis d'appareils exactement semblables et reliés de telle sorte que l'agent du poste expéditeur, en pressant sur un bouton B, fait apparaître aux deux postes l'inscription voulue,

et l'agent du poste averti, comme accusé de réception, fait disparaître les deux voyants en appuyant sur son propre bouton. L'effet de ces boutons est de presser sur deux ressorts *rr* réunis par une plaque d'ébonite, lesquels, venant rencontrer des contacts, forment le circuit d'une pile locale et envoient, par la ligne, un courant à l'appareil en correspondance. Au repos, ils font communiquer le circuit de ligne avec la sonnerie S et la terre, et par suite sont en état de donner passage au courant inverse venant de l'autre poste. Ce sont précisément ces inversions de courant qui font apparaître et disparaître le voyant indicateur.

La sonnerie trembleuse intercalée dans le circuit de l'appareil à guichet a pour but d'attirer l'attention de l'agent du poste chaque fois que le voyant change de position.

Sur la *fig.* sont représentées les bornes T, C, L,

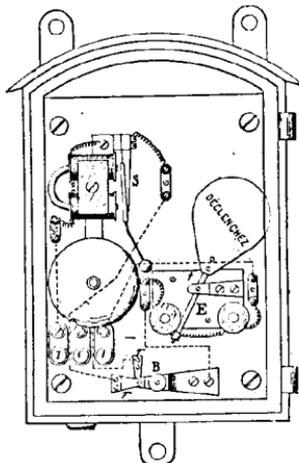


Fig. 1. — Appareil de correspondance à un guichet, avec sonnerie (vue intérieure).

auxquelles on attache respectivement le fil de terre, le fil venant du pôle cuivre (ou positif) de la pile et le fil de ligne aboutissant au poste correspondant.

L'emploi des appareils à guichets exige autant de fils conducteurs qu'il y a de correspondances à échanger; quand le nombre de ces signaux est considérable, le prix d'établissement des lignes augmente donc dans de grandes proportions; M. Dumont, chef du service télégraphique des chemins de fer de l'Est, a combiné, avec le concours de M. Cabaret, contrôleur principal de ce service, et de M. L. Desruelles, un système de montage qui résout en partie cette difficulté. Ce système n'exige l'emploi entre les deux postes à mettre en correspondance que d'un nombre de fils égal au double de la racine carrée du nombre de signaux à transmettre.

La *fig.* schématique (*fig. 2*, page 52) permet de se rendre compte du fonctionnement du système dans le cas de quatre tableaux comprenant chacun quatre voyants.

Les quatre fils de ligne qui partent des paillettes supérieures de chaque poussoir du tableau transmetteur A aboutissent dans le poste récepteur à quatre bornes auxquelles sont reliées respectivement les quatre lames d'un commutateur placé sur chacun des tableaux récepteurs B B' B'' et B'''.

Les quatre autres fils de ligne qui partent des paillettes inférieures de chaque poussoir du tableau A aboutissent chacun à des électro-aimants K K' K'' et K'''.

L'armature de chacun de ces électro-aimants porte quatre paillettes isolées les unes des autres et où aboutissent respectivement les fils des électro-aimants qui actionnent les voyants de chaque tableau. Deux piles P et P' envoient chacune un courant: l'une, la pile P, dans les paillettes supérieures de chaque poussoir, l'autre, la pile P', dans les paillettes inférieures.

Lorsqu'on pousse le troisième bouton de la deuxième rangée, G par exemple, le courant partant du pôle positif de la pile P passe à travers la paillette supérieure par la ligne 3, et se rend à la borne qui, dans le poste récepteur, correspond avec tous les numéros 3 des quatre tableaux.

Le courant de la pile P' passe dans le fil de ligne 6 et se rend à la terre en traversant l'électro-aimant K' du deuxième tableau du poste récepteur. Cet électro-aimant attire son armature et fait ainsi fonctionner le commutateur L, de sorte que le courant de la pile P ne peut retourner à la terre qu'en traversant l'électro-aimant Hughes F, qui correspond au bouton G considéré. Ce système évite donc complètement les dérivations; son fonctionnement est par conséquent assuré et la construction des appareils n'offre aucune difficulté. (G. Dumont, *Applications de l'électricité à l'exploitation des chemins de fer*, 1885.)

M. L. Weissenbruch, ingénieur du ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes de Belgique, s'exprime ainsi dans son *Rapport au congrès des chemins de fer* (1885), au sujet de l'appareil que nous venons de décrire: « Très récemment, M. G. Dumont a décrit un appareil à guichets, simplifié, dont il est l'inventeur, et qui a pour but d'employer un nombre minimum de fils, tout en conservant l'avantage de la manœuvre unique pour la transmission de chaque signal. Un appareil qui a *n* guichets n'a besoin que de $2\sqrt{n}$ fils. Nous ne connaissons pas les résultats donnés par l'emploi courant de ces ingénieux appareils, mais il semble que c'est dans la voie indiquée par M. Dumont que l'on doit chercher la solution du problème. »

Nous ajouterons que les appareils ont été installés à la gare de l'Est, à Paris, pour mettre en communication deux postes Saxby et Farmer, et que les résultats obtenus ont été entièrement satisfaisants.

2° *L'appareil Guggemos.* — Cet appareil, employé à la Compagnie du Nord toutes les fois que la distance des postes à mettre en correspondance dépasse 400 mètres, se compose d'un cadran que l'on suspend au mur. Ce cadran est divisé en treize secteurs portant les indications que l'on veut transmettre; autour de ces secteurs se trouvent des boutons et des cartouches circulaires où sont inscrits les ordres que l'on doit recevoir. Enfin, au centre du cadran est montée une aiguille mobile. Lorsqu'un agent de l'un des postes appuie sur l'un des boutons de son appareil, l'aiguille de ce dernier et celle de l'appareil du poste correspondant viennent s'arrêter toutes deux vis-à-vis du secteur de ce bouton. L'autre agent accuse réception en appuyant sur le bouton de son appareil; les aiguilles font alors un tour complet et reviennent s'ar-

réter au même signal, puis l'agent qui a donné le premier signal ramène les deux aiguilles à la croix. Chaque appareil comprend donc un clavier, un électro-aimant, un mouvement d'horlogerie, un échappement, un interrupteur et un paratonnerre, et un seul fil de ligne suffit. L'appareil, qui joue à la fois

le rôle de manipulateur et de récepteur, fonctionne dans les mêmes conditions qu'un télégraphe à cadran. En appuyant sur un bouton, on déclenche le mouvement d'horlogerie, l'aiguille se met en marche en produisant les envois et interruptions de courant nécessaires pour faire mouvoir l'aiguille du poste corres-

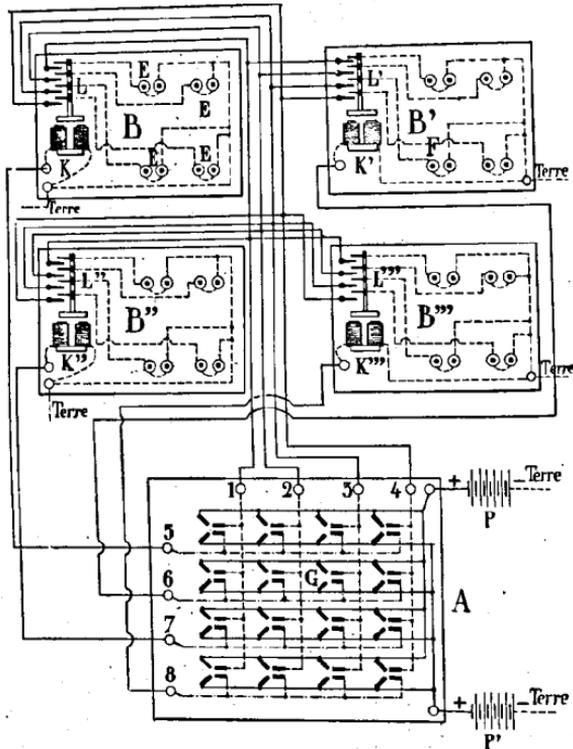


Fig. 2. — Schéma du montage de quatre tableaux (disposition Dumont, Cabaret et Desruelles).

pendant, et elle s'arrête en face du bouton pressé, qui lui sert de butoir.

3° **L'appareil Jouselin.** — Cet appareil, qui est employé principalement sur le réseau de P.-L.-M., est décrit au mot *block-system*. (*Appareils de correspondance indépendants des signaux extérieurs.*)

4° **Les cloches et sonneries d'avertissement.** — (V. *CLOCHES ÉLECTRIQUES.*)

5° **Les avertisseurs automatiques électriques par pédales.** — Ces avertisseurs annoncent un train en avant et sont surtout utilisés à l'approche des passages à niveau. Leur usage est peu

répandu, parce qu'il est difficile de trouver des pédales mécaniques résistant à un service prolongé et présentant les garanties absolument nécessaires de fonctionnement régulier.

Le courant électrique envoyé par la manœuvre de la pédale actionne des appareils avertisseurs consistant, suivant les cas, en une aiguille mobile (système Jouselin), en un voyant mobile portant une inscription (système Leblanc et Loisean), en une sonnerie, ou encore en une trompe (système Digney).

M. de Baillache a proposé de remplacer les pédales par un rail isolé électriquement des rails voisins et du sol; à cet effet, on intercale entre les points d'attache du rail avec les traverses des plaques de cuir recouvertes de gutta-percha et goudronnées. Le rail

isolé étant mis en communication, d'une part avec la source d'électricité, d'autre part avec un avertisseur, le circuit se trouve fermé métalliquement chaque fois qu'un train passe sur la voie, de sorte que l'avertisseur fonctionne. Ce système est à l'essai sur plusieurs réseaux.

6° Avertisseurs électriques du feu. — Voici enfin un petit appareil avertisseur électrique du feu, construit par M. Dupré, et qui a le mérite d'être fort simple. La fig. 3 permet de se rendre compte du système : sur une planchette posée verticalement sont disposés deux fils de laiton AB et CD. L'un, AB, est en communication par la borne R avec une sonnerie d'alarme; l'autre, CD, est mobile et communique par la borne Q avec l'un des pôles d'une pile et supporte

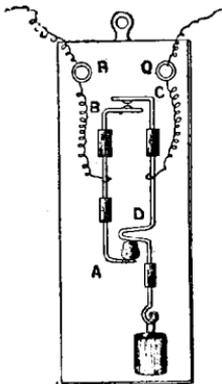


Fig. 3. — Avertisseur du feu (système Dupré).

un poids. Une batterie et une sonnerie sont ainsi placées entre les postes reliés aux bornes R et Q dont la communication est interceptée, vers AD, par un corps, stéarine, cire ou tout autre, mauvais conducteur de l'électricité, mais fusible à une température relativement peu élevée (50° à 60°). Quand la température de la pièce où se trouve l'appareil s'élève au-dessus du point de fusion de la matière choisie comme isolant, la tige descend sous l'action de la pesanteur. La partie supérieure C vient appuyer contre la tige B, le circuit de la pile est fermé et la sonnerie se met à tinter.

Cet appareil peut être installé dans tous les hôtels ou appartements qui se servent de sonnettes électriques.

Outre les cas d'incendie, il peut servir à indiquer une température déterminée nécessaire pour certaines opérations industrielles.

M. Hulinet a proposé comme avertisseur automatique d'incendie un câble composé de deux fils de cuivre rouge, fortement étamés, et par suite inoxydables, enveloppés de gutta-percha. Lorsque ce câble est exposé à une flamme, les enveloppes brûlent, et l'étain de l'étamage, en fondant, établit entre les deux conducteurs des communications électriques qui font marcher une sonnerie d'alarme. Ces câbles, dont le diamètre ne dépasse pas 2 à 3 millimètres, peuvent se dissimuler facilement dans les tentures,

rideaux, derrière des meubles, etc. (V. aussi THERMOMÈTRE ÉLECTRIQUE AVERTISSEUR.)

7° Avertisseurs d'incendie. — Appareils permettant de transmettre électriquement aux postes de pompiers un appel en cas d'incendie.

Des appareils de ce genre sont placés dans tous les quartiers, à la disposition du public. En cas d'incendie, il suffit de casser la glace qui protège un bouton d'appel et d'appuyer sur ce bouton. Cette opération met en mouvement deux sonneries, l'une au poste de pompiers, et l'autre dans l'appareil même. Cette dernière s'arrête dès que les pompiers se mettent en marche. Le fonctionnement du système est facile à comprendre : la pression exercée sur un bouton d'appel produit le déclenchement d'une roue à cames mise en mouvement par la descente d'un poids. En tournant, ces cames soulèvent un levier qui établit un contact électrique et ferme le circuit de la ligne. Le nombre des contacts correspond à celui des cames, et ce dernier au numéro du poste transmetteur. Au poste récepteur, le numéro en question est indiqué par une aiguille qui se meut sur un cadran. Le système est analogue, comme on voit, à celui du télégraphe à cadran. En même temps les deux sonneries placées en dérivation sur la ligne se mettent en marche. Quand la dernière came vient soulever le levier, le mouvement de la roue est arrêté; le circuit reste fermé et les sonneries continuent à fonctionner jusqu'à ce que les pompiers l'interrompent, ce qu'ils font au moment de leur départ. (V. TÉLÉGRAPHIE DE QUARTIER.)

8° Thermo-avertisseur. — M. D. Tommasi a imaginé un appareil destiné à signaler toute élévation de température dans des fils traversés par un courant électrique et à éviter ainsi la destruction des machines dynamo ou magnéto-électriques. L'appareil se compose d'une boîte en matière isolante dans laquelle se trouve comprime un ressort à boudin (fig. 5). Sur ce ressort, en contact direct avec l'une de ses extrémités, repose une cuvette en métal contenant une couche de matière isolante fusible, qui vient buter contre le fil en cuivre rouge, contourné en U, du circuit de la machine qu'il s'agit de protéger. Lorsque la température s'élève par trop, la matière isolante se liquéfie et un contact s'établit entre le fil et la cuvette; le circuit d'une pile locale se trouve ainsi fermé et met en action une sonnerie d'alarme.

9° Avertisseurs de coffres-forts. — On a combiné des appareils qui ont pour but d'appeler l'œil lorsqu'on cherche à forcer un coffre-fort. Les appareils construits par la maison Bréguet reposent sur l'emploi d'un courant continu et se composent, au poste de garde : d'une sonnerie d'avertissement à enclasse (fig. 4) S, dont la palette a et la enclasse C mobile autour d'un axe b sont attirées par l'électro-aimant E tant qu'un courant traverse ses bobines (fig. 5). Dans le bureau de la caisse se trouve une pile P qui produit ce courant continu, et dans le coffre-fort même un interrupteur à pompe (fig. 6) avec un commutateur à manette destiné à rompre pendant la journée le courant continu. Cet interrupteur est formé d'un ressort à boudin, muni d'un bouton placé dans un tube creux cylindrique portant une lame de contact à sa partie supérieure. Lorsque la porte du coffre-fort est fermée, elle pousse la tige p, ce qui établit le contact de la lame et du bouton et ferme le circuit du courant continu si le commutateur C est sur contact. Quand, au contraire, la porte du coffre-fort est ouverte, ou que le commutateur C n'est pas sur contact, le courant continu de la pile P est interrompu et la sonnerie

d'avertissement placée au poste de garde se met à tinter sous l'action de la pile locale P. La fig. 4, qui donne le tracé des communications électriques entre la sonnerie, l'interrompteur à pompe p, le commutateur C et les piles P et P' (à courant continu) per-

la tige *l* qui relie les lames de ressort *l*. On interrompt ainsi à volonté le circuit de la pile P. La culasse C avec sa tige *t* reste écartée tant que le circuit du courant continu est interrompu.

Un autre système d'avertisseur électrique de sûreté, imaginé par MM. Bahlon et Gallot, mérite d'être signalé. Il est représenté fig. 7, page 55. Il comprend les organes suivants : une sonnerie S, placée dans la pièce de garde, une pile locale p, deux électros E et E' qui ferment le circuit de la pile p sur la sonnerie, le premier quand il attire son armature, le second quand il lâche la sienne, et enfin une pile P dont le courant continu traverse constamment le circuit composé des deux électros E et E' du relais.

A l'intérieur du coffre, le courant passe du fil *f* au fil *β*, en traversant une résistance R qui réduit l'intensité dans une mesure donnée; c'est sur cette intensité ainsi réduite qu'est fait le réglage des ressorts *r* et *r'* du relais, de sorte qu'une augmentation de courant provoque l'attraction de l'armature *a*, et une diminution l'abandon de l'armature *b*. Si l'on vient à introduire une clef dans la serrure, on établit par ce fait, entre les deux fils *f* et *β*, un contact qui shunte la résistance R et augmente par suite l'intensité du courant qui attire l'armature *a*.

Un ébranchement imprimé au coffre, une mèche traversant ses parois et venant pousser un panneau mobile intérieur produisent un effet analogue.

Le seul moyen d'empêcher le fonctionnement de l'avertisseur consisterait à joindre les deux fils *f* et *f'* à l'aide d'une résistance égale à la résistance R et de rompre leur communication avec le coffre au-dessous de la jonction ainsi établie; encore faudrait-il exécuter ces deux opérations simultanément. Ce sont là des conditions difficilement réalisables.

Le système peut aussi être monté en différentiel. Dans ce cas le relais ne comporte qu'un électro E recouvert de deux spires (fig. 8). Le courant de la pile P se bifurque entre ces deux spires H et H' qu'il traverse en sens contraire. Une résistance *r'* placée sur H' égalise la résistance entre les deux circuits. Quand l'action magnétique d'une spire prévaut sur celle de l'autre, l'armature de l'électro-aimant E est attirée et la sonnerie S déclenche. Dans cette disposition, tout contact du fil *f* avec l'un quelconque des autres, shunte la résistance R et augmente l'intensité de la spire H.

Le reste du fonctionnement est le même que pour le modèle à deux électros.

Comme la pile P qui dessert les deux circuits de l'électro E dans le modèle différentiel s'use plus rapidement que dans le premier système, on place sur un des repis du circuit un GALVANOSCOPE qui indique le moment où il convient de la recharger. M. Gallot a imaginé une disposition particulière à l'aide de laquelle le déclenchement de l'avertisseur, par l'introduction de la clef dans la serrure, se trouve suspendu dès que la combinaison de la serrure est sur la position qui permet l'ouverture de la caisse.

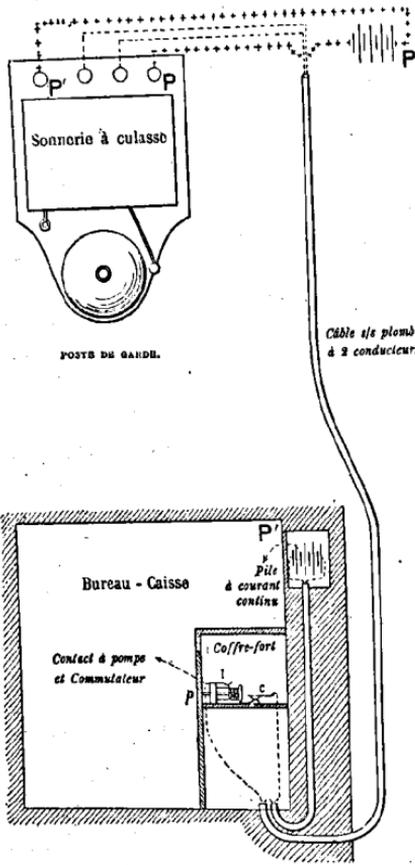
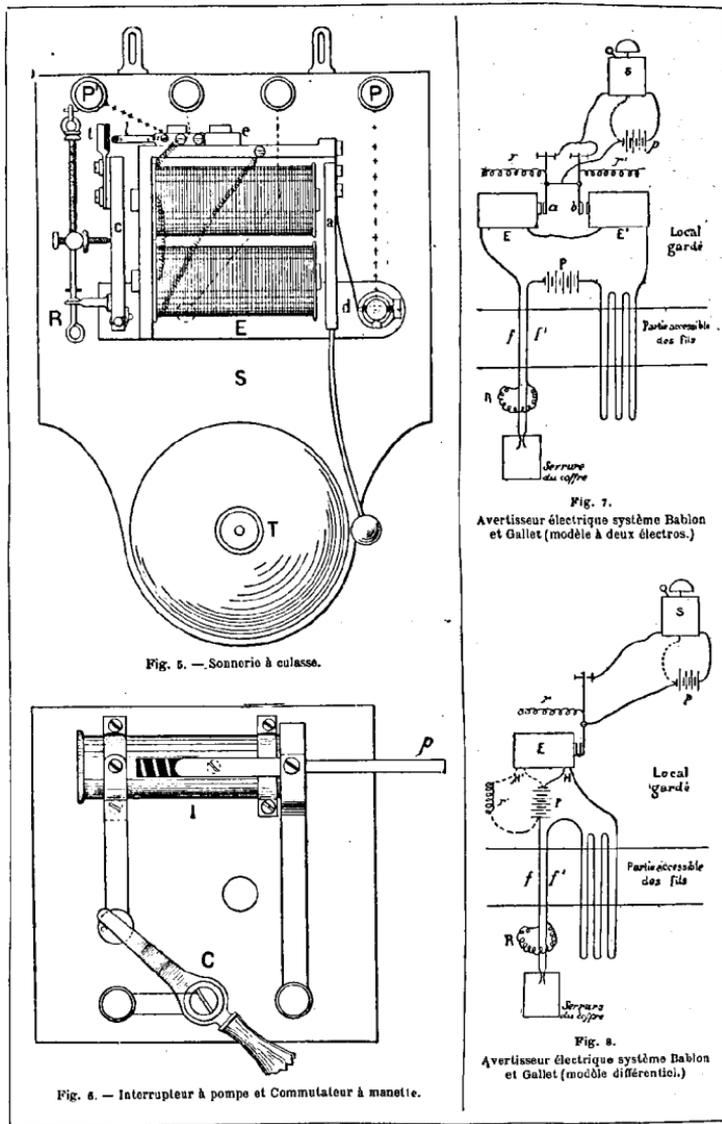


Fig. 4. — Installation d'un Avertisseur Bréguet pour la sécurité des caisses-finances.

met de se rendre compte des effets ci-dessus décrits.

Au poste de garde, on peut arrêter la sonnerie à l'aide du dispositif représenté fig. 5. La culasse C de cette sonnerie, mobile autour d'un axe, est manée d'une tige *l* qui réunit deux lames de ressort *l* fixées de chaque côté d'une plaque d'ébonite et intercalées avec la sonnerie et sa palette *a* dans le circuit de la pile P. A l'aide de la triangle R, dont l'extrémité porte un cordon de tirage, on éloigne la culasse C des pôles de l'électro-aimant E et on sépare



AXIAL (Courant nerveux). — Nom donné à tout courant qui résulte de la différence de potentiel électrique entre deux surfaces de sections transversales d'un nerf.

M. Maurice Mendelssohn a étudié ces courants, et il a formulé comme suit le résultat de ses études, dans une note présentée à l'Académie des sciences par M. Marey, le 9 août 1886 :

1° La force électromotrice du courant axial d'un tronçon nerveux croît avec la longueur de ce tronçon, sans qu'il existe une proportionnalité complète entre ces deux facteurs.

Dans un travail antérieur (1866), M. Mendelssohn avait démontré que la direction du courant nerveux axial est toujours opposé au sens de la fonction physiologique du nerf; mais cette loi ne s'applique que jusqu'à une certaine limite.

2° La force électromotrice du courant axial augmente avec le volume du nerf, c'est-à-dire avec le diamètre de la section transversale. Ceci n'est appli-

cable qu'en cas où l'on compare deux nerfs ayant le même rôle fonctionnel chez deux animaux de même espèce, ou chez le même animal.

3° La force électromotrice du courant axial diminue avec la fatigue du nerf provoquée par une lésion prolongée.

4° La dessiccation du nerf et surtout celle de sa surface de section transversale diminue rapidement la force électromotrice du courant axial. Un nerf enlevé de l'organisme de l'animal de douze à vingt-quatre heures après la mort présente encore un courant axial dont la force électromotrice est relativement assez considérable.

Il résulte donc des études de M. Mendelssohn que la direction du courant axial se trouve en rapport très intime avec le sens de la fonction du nerf.

AXIALE (Ligne). — On appelle ligne axiale la ligne qui joint les pôles d'un aimant.

Babinet (Jacques), savant français, né à Laignon (Vienne), le 5 mars 1794, mort à Paris le 21 octobre 1872. Il fut successivement élève du lycée Napoléon, de l'École polytechnique (1812), et de l'École d'application de Metz, d'où il sortit avec le grade de sous-lieutenant d'artillerie. Mais les exigences de la profession militaire étaient incompatibles avec les inclinations studieuses du jeune Babinet; il la quitta pour entrer dans l'Université qui, en assurant à ses besoins modestes des ressources suffisantes, lui laissait le temps de se livrer à la science et lui procurait le plaisir de l'enseigner. D'abord professeur de mathématiques en province, puis au collège Saint-Louis, à Paris, il fit à l'Athénée (1825) un cours de météorologie, suppléa Savary au Collège de France (1838), et, en 1840, remplaça Dulong à l'Académie des Sciences. M. Babinet, décoré de la Légion d'honneur en 1831, a été astronome adjoint du Bureau des longitudes. Ses travaux, qui embrassent diverses parties de l'astronomie, de la physique et de la météorologie, consistent d'abord en nombreux mémoires adressés à l'Académie. Nous citerons seulement les principaux : *Mémoire sur la détermination de la masse de la planète Mercure* (1825); *Recherches sur les couleurs des réseaux* (1829), où l'on voit que M. Babinet, à l'aide d'un appareil très simple, mesure les déviations des raies des spectres produits par le phénomène des réseaux, phénomène qui avait été découvert par Fraunhofer; *Mémoire sur la détermination du magnétisme terrestre* (1829); *Mémoire sur la double réfraction circulaire* (1837), où Babinet signale l'inégale absorption des rayons ordinaires et extraordinaires dans le phénomène de la double réfraction; *Mémoires sur les caractères optiques des minéraux* (1837); *Mémoire sur le cercle parhélique, les couronnes, l'arc-en-ciel*, etc. (1837), dans lequel la théorie de ces météores est recueillie et complétée en quelques points; *Théorie des courants de la mer* (1837 et 1849); *Mémoire sur la perte d'un demi-intervalle d'interférence dans la réflexion à la surface d'un milieu réfringent* (1839). Babinet a inventé ou perfectionné divers appareils de physique : on lui doit un polariscope, un gonioscope, un perfectionnement ingénieux qui facilite la lecture des variations de l'allongement du cheveu dans l'hygromètre; un robinet grâce auquel on a pu augmenter considérablement la puissance rarefactive de la machine pneumatique, etc. Il a encore composé un élégant *Traité de Géométrie descriptive*, et a imaginé un nouveau système de projection, dit *homalographique* (omalos, régulier), pour la confection des cartes de géographie. Dans ce système, les cercles parallèles sont représentés par des droites, et les méridiens par des ellipses, construction qui a l'avantage d'établir une proportionnalité exacte entre les surfaces de régions quelconques de la terre et celles des cartes correspondantes du plan.

Toutes ces notices sont en partie comprises dans les *Études et lectures sur les sciences d'observation et leurs applications pratiques*.

Par les articles qu'il a envoyés à la « Revue des Deux-Mondes » et au « Journal des Débats », par les leçons qu'il a faites aux conférences de l'Association polytechnique, Babinet s'est placé à la tête des vulgarisateurs de la science. Moins méthodique, moins élevé, moins professeur qu'Arago, il était plus piquant, plus goûté des esprits légers, plus abondant en anecdotes et en plaisanteries, plus fourni de citations, plus causeur.

BAINS ÉLECTRIQUES MÉDICINAUX. — On comprend sous ce nom, en thérapeutique, un grand nombre d'opérations très dissimilables :

1° **Bain d'électricité statique.** — On isole le malade en le faisant monter sur un tabouret à pieds de verre, et on lui fait tenir en mains un CONDUCTEUR en relation avec une MACHINE ÉLECTRO-STATIQUE. On porte ainsi tout son corps à un POTENTIEL élevé.

Cette opération si simple produit de remarquables résultats, qui se traduisent surtout par une grande régularisation des fonctions du système nerveux. En même temps, on surexcite l'appétit, et on détermine le sommeil comme on pourrait le faire avec du chloral ou un opiacé quelconque.

2° **Bain électrique proprement dit.** — Le malade est placé dans une baignoire qui est en relation avec l'un des PÔLES d'une PILE. Il tient dans les mains un conducteur communiquant avec l'autre pôle. Tout son corps est traversé par le COURANT, qui entre par toute la surface de la peau pour sortir par les mains. On observe des effets analogues aux précédents.

3° **Bain local.** — On applique sur la partie du corps qu'on veut faire traverser par le courant deux larges ÉLECTRODES mouillées, en relation avec les pôles d'une pile. L'ÉLECTROLYSE des liquides de l'économie, ainsi déterminée, permet de former où l'on veut des produits oxygénés qui exercent une caustérisation énergétique. Ce procédé présente de grandes ressources, notamment dans le traitement des tumeurs.

BAIN ÉLECTROLYTIQUE. — (V. ÉLECTROLYSE.)

BAIN GALVANOPLASTIQUE. — (V. GALVANOPLASTIE.)

BALAI. — Nom sous lequel on désigne un ensemble de fils métalliques servant à recueillir le courant sur les collecteurs des MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES et MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

BALANCE. — On donne, en physique, le nom de balance non seulement aux appareils servant à mesurer le poids d'un corps, mais aussi à tout appareil où la mesure d'une grandeur physique quelconque se détermine en équilibrant les effets de cette grandeur par ceux d'une autre grandeur que l'on connaît.

Tels sont, par exemple, la *balance électrique* ou *magnétique* et la *balance de torsion*.

Balance électro-magnétique.— Cet appareil, imaginé par Becquerel pour mesurer l'intensité d'un courant électrique, est d'une grande simplicité. Qu'on se figure une balance ordinaire très sensible. Au-dessous de chaque bassin est suspendu un aimant qui pénètre sans frottement dans un tube de verre vertical, entouré, comme une bobine, d'un très long fil de cuivre recouvert de soie, et passant d'un tube à l'autre. L'instrument étant bien équilibré, si l'on fait passer un courant, en sens opposé, autour des tubes, l'un des aimants est soulevé et l'autre abaissé; il faut alors, pour rétablir l'équilibre, mettre dans le bassin correspondant à l'aimant soulevé des poids qui représentent l'intensité des courants.

Balance de torsion.— Appareil ainsi nommé par son inventeur Coulomb, et construit en vue d'estimer les forces magnétiques des aimants naturels ou artificiels, ainsi que les forces électriques. Il est fondé sur la torsion des fils de cuivre ou d'argent, c'est-à-dire sur l'effort que fait, pour revenir sur

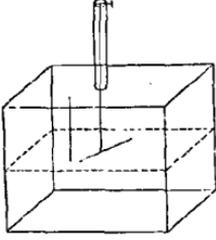


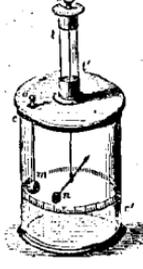
Fig. 1.—Balance de torsion de Coulomb (figure théorique).

lui-même, un fil tendu verticalement par un poids que l'on fait tourner horizontalement. Cet effort, appelé *force de torsion*, est proportionnel à l'*angle de torsion*.

La balance (fig. 1), dans ses éléments essentiels, consiste en un fil d'argent dont la partie supérieure est enroulée sur un petit treuil qui peut tourner sur un disque divisé, de manière à indiquer, à l'aide d'un micromètre, les degrés de torsion ou l'angle de torsion que l'on donne au fil à son extrémité supérieure. L'extrémité inférieure du fil porte une espèce d'étrier destiné à soutenir une aiguille aimantée quand on veut mesurer les forces magnétiques, ou une aiguille en gomme laque terminée par une balle de sucre quand il s'agit d'évaluer les forces électriques. Une cage de verre enferme une partie du fil et supporte le treuil. Sur le contour de

la cage règne une zone divisée en degrés, correspondant aux degrés de la circonférence. Nous allons voir comment l'appareil s'applique à la mesure des

Fig. 2.
Balance de torsion
de Coulomb.



forces magnétiques. On commence par déterminer la position d'équilibre du fil. Pour cela, on place dans l'étrier une aiguille non aimantée, et l'on note le point auquel correspond son extrémité sur la division qui entoure la cage. On remplace ensuite l'aiguille non aimantée par une aiguille aimantée du même poids. Celle-ci tord le fil pour se placer dans la direction du méridien magnétique. On note également le point auquel elle correspond sur la division. Les deux points notés indiquent, par leur écartement, la quantité dont il faut faire tourner le micromètre supérieur pour amener le plan d'équilibre du fil à coïncider avec la direction de l'aiguille. On est alors sûr que l'aiguille est dans le méridien magnétique, et que le fil n'éprouve aucune torsion. Représentons (fig. 3) la coupe horizontale de l'appareil au niveau de l'aiguille, et soit MM' la direction du méridien magnétique. L'aiguille est suivant OM, et elle est maintenue dans cette position par la force magnétique F de la terre, force que nous devons préalablement évaluer. Pour cela, faisons tourner le micromètre dans le

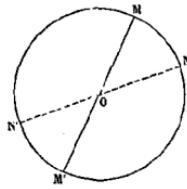


Fig. 3.

sens MNM' d'une quantité angulaire égale à A, et supposons que la torsion du fil amène l'aiguille de OM en ON, en la faisant dévier d'un angle MON = B (dans son expérience, Coulomb avait A = 72° et B = 20°). Si l'aiguille n'avait pas bougé, l'angle de torsion eût été A. Mais, maintenant que l'aiguille a été écartée de sa position primitive, l'angle de torsion est A — B. Cet angle représente la force de torsion qui fait équilibre à la force magnétique de la terre. Ainsi :

Pour faire dévier l'aiguille de B°, il faut tordre le fil de (A — B)°;

Donc, pour la déviation de 1°, il faut tordre le fil de $\frac{(A - B)^\circ}{B}$.

De sorte qu'à chaque degré de déviation de l'aiguille correspondent $\frac{A - B}{B}$ degrés de torsion du fil, ou encore une force magnétique terrestre de $\frac{A - B}{B}$. Cette valeur

dépend des dimensions et de la nature du fil employé. Dans l'expérience de Coulomb, elle était de 35°. Supposons-la donc déterminée pour un fil donné, et appelons-la θ . Maintenant, raméons l'aiguille dans sa position OM. Introduisons, par une ouverture pratiquée dans le haut de la cage, un barreau aimanté, situé aussi tout entier dans le plan du méridien magnétique, et approchons-le du point M, de façon que les deux pôles du même nom soient en présence. L'aiguille sera aussitôt déviée dans la direction MN, par exemple. Soit C l'angle qu'elle fera. La répulsion de l'aimant fait ici équilibre à deux forces : 1° la force magnétique, qui, étant de θ par degré, se trouve être, dans le cas actuel, C θ ; 2° la torsion C du fil. En appelant R cette première répulsion, il vient donc

$$R = C\theta + C.$$

Pour provoquer une nouvelle déviation de l'aiguille, faisons tourner le micromètre dans le sens de MNM', mouvement dont l'effet sera de rapprocher l'aiguille de l'aimant. Soient D le nombre de degrés parcourus par le micromètre, et E l'écart correspondant de l'aiguille. Dans le cas présent, la force magnétique de la terre est E θ , et la torsion D + E. C'est à ces deux forces

que la répulsion actuelle R' fait équilibre, et l'on a encore

$$R' = E + D + E.$$

Les distances des pôles de l'aiguille et de l'aimant sont C et E ; les répulsions calculées, R et R' . Or, l'expérience a fait voir que l'on a, à très peu près, la relation

$$\frac{R}{R'} = \frac{E^2}{C^2}$$

c'est-à-dire que les répulsions magnétiques sont proportionnellement inverses aux carrés des distances des pôles des aimants.

Ce que nous venons d'exposer étant bien compris, il est facile de voir comment la même méthode conduirait à déterminer la loi des attractions magnétiques, ainsi que la loi des attractions et des répulsions électriques. Seulement, dans ce dernier cas, la terre n'exerce aucune action sur l'aiguille, et il y a lieu de tenir compte de la quantité d'électricité fournie.

Balace d'induction voltaïque de Hughes. — Cet appareil a été imaginé par le professeur Hughes, en 1879, dans le but de mesurer la conductibilité des diverses substances pour les courants induits instantanés, et d'étudier la constitution moléculaire des métaux et alliages.

Son principe est le suivant :

Quand deux bobines sont placées dans le voisinage l'une de l'autre, toute variation dans l'intensité des courants qui traverseront la première déterminera un courant induit dans la seconde. Si cette seconde bobine est en relation avec un téléphone, celui-ci révélera à l'oreille par un bruit la production de chacun de ces courants induits.

Si maintenant on vient à mettre dans l'intérieur de ces bobines un fragment d'une substance quelconque, son action magnétique se révélera par une modification des bruits émis par le téléphone, toutes choses égales d'ailleurs.

Voici la disposition adoptée par M. Hughes :

La balace se compose de deux bobines primaires a, a' et de deux bobines secondaires b, b' . Elles sont identiques entre elles (Fig. 4).

Les bobines a et a' sont parcourues par un même courant intermittent, les bobines b et b' sont reliées de telle façon que les courants induits en elles par les bobines a et a' soient de signes contraires, et qu'ils se neutralisent exactement lorsqu'ils sont égaux.

Le circuit des bobines primaires comporte une pile P et un microphone M , excité par le tic-tac d'une horloge H , située auprès de lui. On vérifie que les actions inductives exercées sur les deux bobines secondaires s'équilibrent exactement en intercalant dans leur circuit un téléphone T , qui ne doit alors rendre aucun son malgré les mouvements de l'horloge. Pour arriver à un réglage parfait, on a recours à la bobine

curse d , faisant partie du même circuit. Elle peut glisser le long d'une règle graduée aux extrémités de laquelle sont fixés deux autres bobines c, c' , où le courant primaire circule suivant des directions opposées. Cette partie de l'appareil est appelée sonomètre par M. Hughes.

Lorsque la bobine d occupe exactement le milieu entre c et c' , elle ne subit aucun effet, car les actions de ces deux dernières bobines s'équilibrent; mais il n'en est plus de même lorsqu'on la rapproche de l'une ou de l'autre. Elle devient alors le siège d'une induction

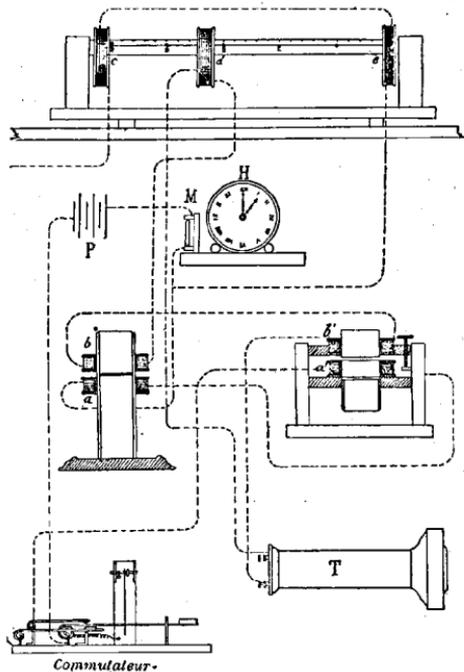


Fig. 4.

Disposition d'ensemble de la Balace d'induction voltaïque de Hughes.

dont la grandeur et le sens dépendent de la grandeur et de la direction du déplacement. En faisant glisser cette bobine, on arrive facilement à ne plus entendre aucun bruit dans le téléphone. A ce moment, le circuit secondaire est exactement équilibré.

Voici, d'après M. Berlin, une série d'expériences que l'on peut effectuer alors :

1° On place dans les deux groupes de bobines deux godets en bois; si on met dans l'un des godets une pièce de 1 franc, le téléphone devient bruyant; une seconde pièce mise dans l'autre groupe ne le fera pas taire, en général, parce que les deux pièces ne sont pas parfaitement égales, soit en poids, soit en titre,

soit en température. On reconnaît facilement celle dont l'action est moindre en en approchant une pièce de 0 fr. 50, fixée normalement à l'extrémité d'une tige de bois. D'un côté elle enlève le bruit du téléphone, de l'autre elle le diminue jusqu'à l'anéantir; c'est de ce côté que se trouve la pièce la plus faible.

La sensibilité de la balance est telle, que le téléphone étant silencieux parce que les pièces sont égales, il suffit de souffler sur un des godets ou d'échauffer légèrement une des pièces avec les doigts pour que le téléphone se fasse entendre. On reconnaît de même la plus petite différence de titre dans des monnaies égales en apparence.

En opérant avec des disques de même diamètre et de même épaisseur, on constate l'inégale action des divers métaux. Les sons correspondant à chaque métal différent non seulement par leur intensité, mais encore par leur tonalité. Ainsi, le fer donne un son étouffé, tandis que l'acier trempé donne des sons très aigus.

2° Les masses métalliques agissent loi comme les diaphragmes que l'on introduit dans les bobines induites pour affaiblir la tension du courant induit, et ces diaphragmes agissent eux-mêmes comme une bobine intérieure, qui recevrait l'induction si elle était fermée et ne produirait aucun effet si elle était ouverte.

Enlevons le godet dans l'un des groupes et introduisons à sa place une bobine ordinaire, dont les bouts de fils peuvent être à volonté réunis ou séparés; s'ils sont séparés, le téléphone se taira; s'ils sont réunis, il fera entendre un bruit intense.

3° Répétons l'expérience avec une bobine plate ou une spirale; l'effet sera le même si elle est horizontale; mais si elle est verticale, le téléphone sera silencieux, que la bobine soit ouverte ou fermée; c'est que les courants induits ne peuvent pas se produire dans un circuit perpendiculaire au courant inducteur.

4° La même chose a lieu avec les disques métalliques. En plaçant une pièce de 1 franc sur l'un des groupes, le téléphone parlera si la pièce est horizontale; il se taira si la pièce est verticale.

5° Cette influence de la position du disque peut être facilement constatée sur tous les métaux non magnétiques; mais pour les métaux magnétiques elle s'exerce en sens contraire. En introduisant un disque en fer ou en nickel, l'effet sera très faible si le disque est horizontal; très fort, au contraire, si le disque est vertical.

6° La même chose aura lieu avec une spirale plate en fer. L'effet sera très faible si la spirale est horizontale, qu'elle soit ouverte ou fermée, l'induction dans le fer étant faible; le téléphone parlera, au contraire, très fort si cette spirale est verticale, et il sera encore indifférent de l'ouvrir ou de la fermer.

7° Les métaux magnétiques peuvent agir de deux manières: comme diaphragmes, si leur dimension parallèle à l'axe de la bobine est petite, et comme aimants, si cette dimension est grande. Dans le premier cas ils diminuent l'induction; dans le second cas ils l'augmentent. Cet antagonisme est mis en évidence par l'expérience suivante:

On introduit un disque en fer horizontalement entre les deux bobines a' et b' ; l'effet, qui était faible quand le disque était dans le centre des bobines, devient très intense. On introduit à côté, et cette fois dans l'axe des bobines, un faisceau de fils de fer: le téléphone, qui parlait très haut, parle maintenant tout bas, et on pourrait le faire taire en soulevant un peu le faisceau de fils de fer. Ce faisceau agit donc en sens contraire au disque.

8° La balance rend sensibles des variations de ma-

gnétisme qui doivent être très faibles. On introduit un fil de fer dans le groupe $a' b'$, le téléphone signale sa présence; dans $a b$, on introduit un fil plus long, que l'on peut tordre avec une manette: tout d'abord ce dernier n'était pas le son produit par le premier; mais il suffit de le tordre légèrement pour que le téléphone redevienne silencieux.

9° Ces phénomènes donnent un moyen de mesurer la limite de sensibilité de la balance. L'introduction dans les bobines d'une tige de bois portant à son extrémité un petit fil de fer de 1 millimètre de long et de 0^m,4 de diamètre produit dans le téléphone un bruit appréciable. C'est même un moyen de juger de la sensibilité de l'oute de l'observateur.

10° On prend deux godets en bois, revêtus, à l'intérieur, d'une couche de terre de pipe, pour pouvoir y mettre des corps chauds. On les place dans les deux groupes de bobines, et l'on y met deux cylindres métalliques choisis de telle sorte que le téléphone reste silencieux; si ensuite on enlève un des cylindres pour le chauffer fortement et qu'on le remette en place, le téléphone parlera, et l'on reconnaîtra que l'action du métal chauffé a diminué si c'est du cuivre, et qu'elle a augmenté si c'est un métal magnétique. Dans le premier cas, la conductibilité du métal a diminué, et tout s'explique. Dans le second cas, le métal produisait un double effet, un effet d'aimantation, et un effet de diaphragme; tous les deux ont diminué, mais inégalement; la différence peut avoir un signe quelconque.

L'emploi du sonomètre permet de mesurer les effets produits.

Balance d'induction statique de Gordon.— Elle a été imaginée par M. Gordon, qui s'en est servi dans ses expériences sur la CAPACITÉ INDUCTIVE SPÉCIFIQUE des corps.

La grande difficulté que présente cette étude tient à ce que, si un corps diélectrique est chargé pendant un temps appréciable, une partie de la charge est absorbée, et les observations sont compliquées des phénomènes de charge résiduelle.

Dans la balance d'induction statique:

1° Les plateaux métalliques électrisés ne touchent par le diélectrique;

2° La charge ne dure que $\frac{1}{1200}$ de seconde.

Cet appareil se compose essentiellement de cinq disques métalliques circulaires et parallèles, $a b c d e$; les disques $b c d e$ sont fixes, mais le disque a peut recevoir, au moyen d'une vis micrométrique, un mouvement de translation suivant une direction perpendiculaire à ses bases (fig. 5).

Les disques $a c e$ ont 0^m,45 de diamètre, les disques b et d n'en ont que 10. Chaque plateau est éloigné du plateau voisin d'environ 0^m,925.

On emploie comme source d'électricité une BOBINE d'induction fournissant des POTENTIELS égaux, mais alternativement positifs et négatifs.

Supposons un instant qu'on la remplace par une PILE et que toutes les parties de l'appareil soient portées à des potentiels ayant les signes supérieurs indiqués sur la figure.

Lorsque les plateaux a et b sont à la même distance que d et e du plateau central c , celui-ci, par raison de symétrie, ne peut causer aucune déviation de l'aiguille de l'ÉLECTROMÈTRE à laquelle il est relié.

Mais si, en tournant la vis, on écarte le plateau a du plateau b , l'action inductive de e sur d sera plus grande que celle de a sur b , les cadrans couverts de hachures sur la figure seront plus fortement électrisés, et l'aiguille tournera vers eux.

Si maintenant on vient à disposer un DIÉLECTRIQUE

dont la CAPACITÉ INDUCTIVE SPÉCIFIQUE soit plus grande que celle de l'air, l'aiguille pourra être déviée en sens inverse.

Dans tous les cas, on pourra toujours, en déplaçant le plateau a au moyen de la vis, l'amener à une position telle que l'aiguille reste au zéro, quel que soit le diélectrique interposé entre les plateaux a et b .

Dans les expériences, on lit la position du plateau a qui amène au zéro l'aiguille de l'électromètre : 1° quand il n'y a que de l'air dans la balance ; 2° quand on a introduit le diélectrique.

Connaissant la différence de ces positions et l'épaisseur du diélectrique, on calcule de la manière suivante la capacité inductive spécifique de la substance expérimentée.

Solent a , et a_1 les distances du plateau a au plateau b : 1° lorsqu'il n'y a que de l'air interposé entre eux, 2° lorsqu'il y a un diélectrique ; l l'épaisseur du diélectrique, K sa capacité inductive spécifique.

Un diélectrique d'épaisseur l et de capacité induc-

tive spécifique K agit comme une couche d'air d'une épaisseur $\frac{l}{K}$.

En introduisant le diélectrique, on a augmenté la capacité du condensateur formé par les plateaux a et b de la même quantité que si ces plateaux avaient été rapprochés l'un de l'autre de la distance l , puis éloignés de la distance $\frac{l}{K}$, c'est-à-dire rapprochés d'une distance

$$l \left[1 - \frac{1}{K} \right].$$

Mais on a :

$$l \left[1 - \frac{1}{K} \right] = a_1 - a,$$

d'où

$$K = \frac{l}{a_1 - a}.$$

Remarquons qu'il n'est pas nécessaire de connaître

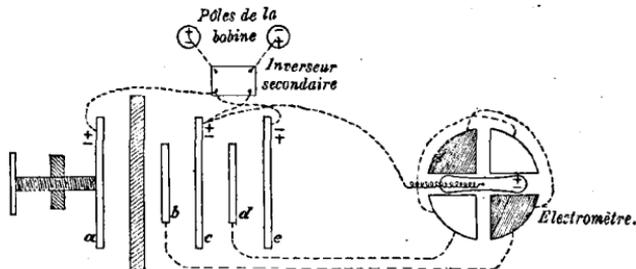


Fig. 5. — Disposition schématique de la Balance d'induction statique de Gordon.

les grandeurs a , et a_1 , mais seulement leur différence, ce qui est beaucoup plus facile.

Nous avons supposé jusqu'ici que la bobine d'induction avait été remplacée par une pile. Voyons maintenant ce qui se passe avec la bobine d'induction.

L'aiguille de l'électromètre étant reliée au plateau c , il en résulte que le signe de sa charge est changé en même temps que ceux des charges des cadrans. Dès lors, les déviations de l'aiguille dues à une rupture de l'équilibre de la balance seront toujours de même sens, malgré l'intervention des pôles de la bobine.

Dans la pratique, lorsque ces interventions étaient reproduites 4.200 fois par seconde, la déviation de l'aiguille était complètement indépendante des interventions de courant et dépendait seulement de la position du plateau a .

L'inverseur secondaire, indiqué sur la figure, servait à inverser en même temps les électrisations communiquées à la balance 30 fois par seconde environ, afin d'éviter qu'il n'y eût quelque prépondérance de l'électricité + ou de l'électricité - après la première inversion.

On pourrait calculer la capacité inductive spécifique d'une substance quelconque, en se servant de la formule établie plus haut. Grâce à l'intervention continue des électrisations, toute cause d'erreur tenant

soit à l'absorption d'une partie de la charge, soit à une décharge résiduelle, est évitée.

Barlow (Pierre), l'un des plus célèbres savants de l'Angleterre, né à Norwich en 1776, mort en 1862. Fils d'un ouvrier, il dut à sa seule intelligence et à son amour pour l'étude, d'abord l'instruction, puis la haute position scientifique qu'il sut acquérir. Devenu répétiteur de mathématiques et de physique à l'Académie militaire de Woolwich, en 1806, il fut bientôt après nommé titulaire de cette chaire, qu'il occupa quarante ans; puis il fut élu successivement membre de la Société royale (1823), de la Société d'astronomie (1829), membre des Académies de Saint-Petersbourg et de Bruxelles, de la Société des sciences et des arts d'Amérique, et enfin membre correspondant de l'Institut de France. Il est connu dans le monde savant à triple titre : pour ses travaux sur les mathématiques, sur la physique et sur la mécanique. Lorsque les progrès de l'art nautique tendirent à substituer partout le fer au bois dans la construction des vaisseaux, on s'aperçut qu'une si grande masse de métal impressionnait fortement l'aiguille aimantée de la boussole, et que les erreurs les plus regrettables pouvaient en résulter pour la direction des navires. Barlow parvint à neutraliser en grande partie cette action, au moyen d'un disque en fer posé près de l'habitacle, et il composa, à ce sujet, un

traité complet de l'ÉLECTRO-MAGNÉTISME, sous le titre d'Essais sur l'attraction magnétique (1820). Ces beaux travaux lui valurent, en Angleterre, la médaille d'or de Copley (1825), la plus haute distinction que puisse décerner la Société royale, et, en France, la récompense accordée aux découvertes utiles à la navigation. L'astronomie lui est redevable d'une importante amélioration dans les télescopes achromatiques. En substituant au flint-glass le sulfure de carbone, dont la puissance de réfraction est double de celle du verre, il parvint à construire un télescope avec lequel il put corriger les erreurs des catalogues d'étoiles de MM. W. Herschel et South. Ce télescope, dont l'ouverture avait huit pouces, était le plus grand qui eût été construit en Angleterre, avant celui d'Herschel.

Comme mécanicien, Barlow s'est surtout occupé des chemins de fer, et il a consigné le résultat de ses longues expériences dans son grand *Traité sur les matériaux de construction*, qui est considéré, en Angleterre et à l'étranger, comme faisant loi sur ces matières, et qui a été traduit dans toutes les langues de l'Europe. Un système de rails porte son nom. Outre les ouvrages cités plus haut, un grand nombre d'articles publiés par Barlow, de 1821 à 1836, dans les « *Transactions philosophiques* », et de remarquables rapports écrits, présentés au parlement, sur des questions de chemins de fer, ont droit à ce savant : *Recherches élémentaires sur la théorie des nombres* (1811); *Nouvelles Tables mathématiques* (1814 et 1810); *Nouveau Dictionnaire philosophique et mathématique* (1814); *De la construction des télescopes achromatiques* (1829 et 1833); *De l'outillage et des manufactures de la Grande-Bretagne* (1837); etc.

BARLOW (Roue de). — C'est un appareil imaginé en 1828 par le physicien Barlow et qui sert à

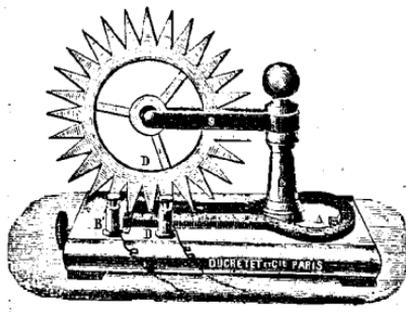


Fig. 6. — Roue de Barlow.

démontrer l'action d'un COURANT sur lui-même.

Il se compose d'une roue dentée D en cuivre, mobile autour de son axe. Quand le courant d'une pile passe de la borne B à la borne B' par la colonne C, le support S, l'axe de la roue, les extrémités dentées et un bain de mercure, la roue se met à tourner. La rotation devient beaucoup plus rapide si l'on dispose la roue entre les deux pôles d'un AIMANT A comme l'indique la figure.

Il est facile de se rendre compte du phénomène ou se reporter aux considérations exposées à l'article ROTATION ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE.

En s'appuyant sur le principe de la roue de Barlow,

on peut construire des MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES capables de développer une très grande INTENSITÉ, mais de peu de force ÉLECTROMOTRICE. (V. MACHINE UNIPOLAIRE.)

BAROMÉTROGRAPHE. — Appareil imaginé par M. Ecard, en Amérique, pour enregistrer dans un observatoire ou une station météorologique les mouvements d'un baromètre placé dans un endroit éloigné. Il comprend un transmetteur influencé directement par les variations du baromètre et un enregistreur sur lequel les mouvements du transmetteur réagissent électriquement et produisent l'inscription des courbes barométriques. En voici le principe :

Le transmetteur consiste en un baromètre à siphon dont le tube a un diamètre intérieur de 0^m.62. Sur la surface libre du mercure repose un flotteur en fer suspendu à un fil passant au-dessus d'une poulie portée à l'extrémité d'un levier, et quand le flotteur monte ou descend, l'action du fil sur la poulie fait descendre ou monter l'autre extrémité du levier. Celle-ci se met entre deux contacts de platine et vient toucher l'un ou l'autre, suivant le sens de son mouvement, ce qui ferme, dans chaque cas, un circuit différent et envoie ainsi un courant soit dans un ÉLECTRO-AIMANT, soit dans un autre. Ces deux électros ont une armature commune qui commande une roue dentée horizontale. Mais cette roue est traversée suivant son axe par une tige fileté, de sorte que, quand la roue tourne dans un sens ou dans l'autre, elle fait monter ou descendre cette tige, ce qui correspond à la descente ou à la montée du mercure dans le baromètre.

La tige, en montant ou en descendant, envoie un courant dans le récepteur, qui comprend aussi deux électros ayant une armature commune. Lorsque cette armature est attirée par l'un des électros, elle déclenche un mouvement d'horlogerie, qui fait avancer d'une dent une roue sur l'axe de laquelle est une vis sans fin. Sur cette vis se trouve un manchon fileté qui porte le crayon et monte ou descend suivant le sens de rotation de la vis. Ce crayon marque ainsi un trait sur le cylindre enregistreur placé devant lui. Lorsque, au contraire, l'armature est attirée par l'autre électro-aimant, la roue tourne d'une dent en sens contraire et le crayon suit un mouvement inverse.

BARREAU AIMANTÉ. — Barreau d'acier auquel on a communiqué les propriétés magnétiques. (V. AIMANT.)

BARROW (Cerole de). — Instrument servant à mesurer l'inclinaison. (V. MAGNÉTOMÈTRE.)

BATEAU ÉLECTRIQUE. — Embarcation mue par une hélice actionnée par un moteur électrique. A l'Exposition de 1881, à Paris, M. Trouvé avait exposé un canot électrique en employant comme générateur d'électricité des piles au bichromate de potasse; depuis il a perfectionné le système. Le moteur électrique qui, avec un poids et un volume minimes, arrive à développer une très grande puissance, donne son maximum de rendement avec une vitesse de plusieurs milliers de tours par minute. On se trouve donc dans des conditions très différentes de celles que présentent les moteurs à vapeur, lesquels, à cause de l'inertie des pièces oscillantes et de la résistance limitée de certains organes, ne peuvent dépasser pratiquement une vitesse assez faible. Au lieu de réduire, par le mode

de transmission, la vitesse du moteur, M. Trouvé a conservé à l'hélice une très grande vitesse de rotation et il a été amené ainsi à modifier la forme de cette hélice. Il est parvenu à améliorer notablement la marche des canoës électriques. Il a construit une embarcation dont la vitesse du marche atteint 44 kilomètres à l'heure.

En Angleterre, M. Reekenzau a cherché à résoudre le problème de la navigation électrique en se servant d'ACCUMULATEURS. Il a construit une embarcation, le *Volta*, qui a effectué, avec un plein succès, la traversée de la Manche. Ce bateau est en acier, il mesure environ 11 mètres de longueur sur 3^m,25 de largeur. Une batterie de 64 accumulateurs actionne un moteur double Reekenzau; on peut aussi faire varier la vitesse sans avoir à changer le nombre d'accumulateurs en service ou à introduire dans le circuit des résistances auxiliaires. On accouple ces deux moteurs en série ou en QUANTITÉ, suivant qu'on veut obtenir une faible ou une grande vitesse; dans la marche normale, on n'emploie qu'un seul moteur. Les deux appareils pèsent 330 kilogrammes et peuvent développer 16 chevaux. L'hélice est commandée directement par l'arbre du moteur, dont la vitesse varie de 600 à 1,900 tours par minute. Les accumulateurs pèsent environ 2 tonnes et sont disposés dans une caisse en bois au fond de l'embarcation, qui peut transporter quarante personnes.

Le bateau électrique le *Volta* a effectué, le 43 septembre 1886, la traversée de la Manche. Partit de Douvres à dix heures quarante minutes du matin, le bateau est arrivé à Calais à deux heures trente-deux minutes; il est ensuite reparti de ce dernier port à trois heures quarante minutes, et est rentré à Douvres à sept heures vingt-sept minutes, après avoir effectué un parcours d'environ 54 milles en huit heures quatre minutes. C'est un résultat à enregistrer, car il montre que l'électricité possède aujourd'hui toutes les qualités que l'on peut désirer sur ces bateaux de plaisance: sécurité, vitesse suffisante, absence de bruit, de fumée et de vapeur, emplacement restreint des appareils, etc. (V. TORPILLEUR ÉLECTRIQUE.)

BATHOMÈTRE (du grec *bathus*, profond).— Instrument imaginé par Siemens pour évaluer la profondeur des mers. (V. ENCRISTATEUR.)

BATTERIE ÉLECTRIQUE. — Pour former une batterie électrique, on réunit plusieurs BOUTEILLES DE LEYDE ou jarres électriques, ordinairement au nombre de 4, 6, 8 ou 9, dont on met en communication, d'une part toutes les ARMATURES extérieures, et, de l'autre toutes les ARMATURES intérieures. Cette communication s'établit, pour les premières, au moyen d'une feuille d'étain doublant le fond de la caisse dans laquelle les bouteilles sont placées, et qui se prolonge latéralement jusqu'à la rencontre de deux poignées métalliques; pour les secondes, à l'aide d'un CONDUCTEUR qui réunit toutes les tiges des armatures intérieures. Pour charger une batterie, on met en rapport les armatures intérieures avec une machine, et les armatures extérieures avec le sol par une chaîne métallique fixée à l'une des poignées de la caisse. Sur les jarres est placé un ÉLECTROSCOPE à cadran qui permet de juger la charge que contient la batterie. La décharge ne doit se faire qu'avec beaucoup de précautions, surtout quand ces puissants appareils contiennent une quantité notable de fluide électrique. Pour opérer cette décharge, on se sert d'un EXCITATEUR à manche de verre; l'une des boules est mise en communication avec les armatures extérieures, tandis que l'on approche l'autre des boutons intérieurs.

On peut aussi former une batterie électrique en disposant plusieurs bouteilles de la manière suivante: On suspend au conducteur d'une MACHINE DE RAMSDEN une première bouteille sous laquelle est placé un crochet; on se sert de ce crochet pour suspendre une seconde bouteille à la première, et la série est continuée à l'aide du même moyen jusqu'à une dernière bouteille, à laquelle est fixée une chaîne communicant avec le sol. Le plateau de la machine étant mis en mouvement, l'ÉLECTRICITÉ positive s'accumule sur la garniture intérieure de la première bouteille, décompose le fluide naturel de la garniture extérieure, et repousse la partie positive de ce fluide dans la garniture intérieure de la seconde bouteille. Il en résulte que toutes se chargeront d'électricité positive à l'intérieur, et d'électricité négative à l'extérieur. On peut les décharger successivement comme si chacune était seule, ou toutes ensemble, en établissant un circuit conducteur, de l'extérieur de la dernière au crochet de la première. Cette manière de charger plusieurs bouteilles suspendues l'une à l'autre est appelée *charge par cascade*; elle est aujourd'hui peu employée.

Les batteries électriques produisent des effets identiques à ceux de la bouteille de Leyde, mais portés à un degré d'énergie d'autant plus considérable que le nombre des bouteilles est plus grand.

Lorsqu'on se propose de soumettre un objet particulier à la puissante action d'une batterie, on fait habituellement usage d'un petit instrument appelé EXCITATEUR UNIVERSEL; cet appareil se compose de deux verges de cuivre, mobiles au moyen de deux charnières disposées autour des extrémités de deux tiges isolantes en verre. Ces verges, qui communiquent à l'aide d'une chaîne et par une de leurs extrémités, chacune avec une des armatures de la batterie, reposent, par l'autre extrémité, sur une petite tablette de bois disposée de manière que les deux étincelles jaillissent sur l'objet soumis à l'expérience et qui est placé sur cette petite tablette. Une batterie de 3 à 4 décimètres carrés, et chargée par une machine de moyenne force, donne lieu à une charge qu'un homme robuste ne pourrait recevoir sans danger. Priestley a foudroyé ainsi des rats, des oiseaux, et même des chats. Sans une forte décharge, un fil de fer devient incandescent et jaillit en une infinité de petits grains; une feuille d'étain se volatilise, et l'or qui recouvre un fil de soie disparaît instantanément sans que celui-ci ait eu le temps d'être attaqué, malgré la vive chaleur qui se dégage.

Si une batterie est formée de bouteilles ayant des CAPACITÉS respectives a, b, c, \dots , et si ces bouteilles ont une armature reliée à la terre et l'autre à une source d'électricité commune, la capacité de la batterie est :

$$C = a + b + c + \dots$$

Si les bouteilles ont été mises séparément en relation avec des sources indéfinies débitant de l'électricité aux POTENTIELS v, v', \dots , elles se seront chargées respectivement de quantités :

$$q = av \quad q' = b'v' \quad q'' = cv'' \dots$$

Si on vient à les mettre en communication, la charge totale sera :

$$Q = q + q' + q'' + \dots$$

et le potentiel commun :

$$\frac{Q}{C} = \frac{av + b'v' + cv'' + \dots}{a + b + c + \dots}$$

Si les bouteilles qui composent la batterie sont

montées en cascade, la capacité du système sera donnée par la relation

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \dots$$

S'il y a n bouteilles semblables, on aura :

$$V = \frac{nQ}{a} \quad Q = \frac{nV}{a} \quad C = \frac{a}{n}$$

En Allemagne le mot *batterie* est employé couramment dans le même sens que le mot *pile* en France.

BATTEUR DE MESURE ÉLECTRIQUE. — Instrument destiné à transmettre les indications d'un chef d'orchestre à des exécutants qui ne peuvent le voir; par exemple dans le cas de masses chorales placées dans les coulisses d'un théâtre.

M. Tassiné, en 1855, mit le premier en usage un appareil de ce genre dans la cathédrale de Bayeux. Il se composait d'un simple ÉLECTRO-AIMANT dont l'armature, munie d'un ressort antagoniste, était prolongée par une petite baguette légère; un manipulateur à la disposition du maître de chapelle, une pile et des conducteurs complétaient l'appareil. On envoyait le courant pour faire frapper un coup à la baguette. — Un appareil analogue fut employé dans un festival qui termina l'exposition de 1855.

M. Duboscq employa ensuite comme récepteur un véritable métronome; la verge de cet appareil, surmontée d'un disque d'aluminium pour la rendre plus visible, était conduite par une aiguille articulée sur un balancier qui était terminé par les ARMATURES de deux électro-aimants, suivant que le courant était d'un côté ou de l'autre. Le transmetteur avait une certaine analogie avec le manipulateur à cadran, de Bréguet. (V. TÉLÉGRAPHIE.) Un levier formant godille passait successivement sur les dents d'une roue, mise en mouvement à l'aide d'un pied de biche en prise avec une pédales placée à portée du chef d'orchestre. Ce nouveau système, appliqué pour la première fois à l'Opéra, le 3 mars 1863, pour les représentations de *Faust*, à peu à peu cessé d'être employé.

Le défaut de ces appareils consistait en ce que chaque genre de mesure se marque par des gestes convenus. Le premier temps de la mesure seul se frappe en bas; les métronomes décrits ne peuvent indiquer que le commencement de chaque temps, mais nullement faire reconnaître quel est le premier temps de chaque mesure. Frappé de cet inconvénient, Victor Massé a demandé une solution du problème à Lartigue, qui a imaginé la disposition suivante.

Le chef d'orchestre bat la mesure avec un bâton creux, à l'intérieur duquel se trouvent deux contacts en argent ou en platine, dont l'un est fixe, et l'autre placé à l'extrémité d'une lame de ressort. Les deux contacts forment les extrémités de deux fils souples, dans le circuit desquels sont intercalés une pile et un électro-aimant. Chaque fois que le chef d'orchestre frappe la mesure de haut en bas, le contact mobile touche le contact fixe, le circuit se ferme, et une armature placée en regard de l'électro-aimant est attirée. Une lumière placée en arrière de l'armature en projette l'image agrandie sur un écran, et par suite en rend les mouvements visibles. De la sorte, le chef d'orchestre peut indiquer la mesure à des exécutants qui ne le voient pas, par exemple à des choristes placés dans les coulisses d'un théâtre.

L'appareil de Lartigue avait l'inconvénient inverse du précédent, il ne frappait que le premier temps de la mesure. Celui imaginé récemment par M. Samuel, et construit par M. de Branville, paraît répondre

complètement au desideratum. En voici le principe : le batteur de mesure est une petite baguette suspendue à l'aide d'une articulation à genou lui permettant de se mouvoir de haut en bas ou de bas en haut, ainsi que de gauche à droite ou de droite à gauche, mouvements qui constituent les indications complètes pour toute espèce de mesure. Ce sont quatre électro-aimants qui permettent d'arriver à ce résultat : deux d'entre eux produisent par attraction les mouvements vers la gauche et vers la droite; les deux autres, les mouvements vers le bas et vers le haut; enfin des ressorts antagonistes ramènent la baguette à la position milieu. Il suffit donc d'envoyer le courant à l'un des électros pour faire donner à la baguette celui des battements qu'on voudra, et on emploie à cet effet un petit clavier à quatre touches placé sous la main du chef d'orchestre, qui les abaisse successivement avec les doigts de la main gauche.

M. Carpentier a construit aussi un *batteur de mesure* électrique disposé de la façon suivante : sur un

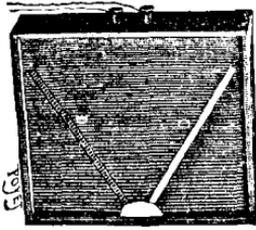


Fig. 1. — Vue extérieure.

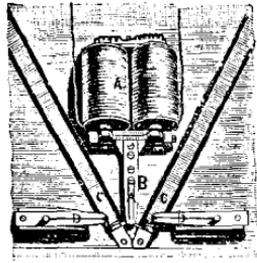


Fig. 2. — Vue intérieure.

BATTEUR DE MESURE ÉLECTRIQUE CARPENTIER.

tableau noir, on découpe dans l'épaisseur de la planchette superficielle un V (fig. 1); puis on dispose, au fond des deux rainures, une baguette, noire d'un côté, blanche de l'autre, et capable de tourner sur elle-même sous l'action d'un courant électrique. Les deux baguettes présentent alternativement au spectateur la face blanche et la face noire, et suivant le rythme voulu par le chef d'orchestre, qui presse le bouton de l'appareil. Il en résulte une illusion d'optique : la baguette blanche paraît se mouvoir sur le cadre noir et battre la mesure. Le mouvement simultané de pivotage des deux baguettes se produit par un mécanisme fort simple dont le principal organe est un électro-aimant A (fig. 2) :

Becquerel (Antoine-César), un des physiciens les plus distingués de notre temps, né à Châtillon-sur-Loing (Loiret) en 1788, mort à Paris en 1878. Élève de l'École polytechnique, il fit les dernières campagnes de l'empire comme officier du génie. Il fut inspecteur des études à l'École polytechnique de 1813 à 1814; il donna sa démission de chef de bataillon en 1815 et se livra exclusivement à l'étude des sciences.

Il s'occupa plus particulièrement des phénomènes de l'électricité, et cette branche des sciences physiques lui doit une partie de ses progrès. Ses recherches l'amèrèrent à renverser la théorie du contact, par laquelle on expliquait les effets de la pile de Volta, et à construire la première PILE À COURANT CONSTANT. Sept ans plus tard, Daniell ne fit que reproduire les couples de Becquerel en améliorant seulement leur forme. On doit aussi à Becquerel la BALANCE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE, ainsi qu'une multitude de travaux sur l'électro-chimie, science dont il fut un des créateurs; des recherches sur la CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE des métaux, sur les GALVANOMÈTRES (il créa le galvanomètre différentiel), sur l'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE; un procédé de coloration électrique sur or, argent et cuivre; enfin une multitude d'applications de l'électro-chimie à la dorure, à l'argenterie, etc. Parmi les substances qu'il obtint à l'aide des actions électriques lentes, on cite l'aluminium, le silicium, le glucium, le soufre, l'iode en cristaux, les sulfures métalliques, le sulfure d'argent, les doubles iodures, le sulfate calcare, la dolomie, les phosphates terreux et métalliques, etc. En 1830, reprenant les travaux de Seebeck, il classa les principaux métaux dans un ordre déterminé relativement à la thermo-électricité. Membre du conseil général du Loiret, il a aussi beaucoup contribué par ses mémoires à appeler l'attention du gouvernement sur l'amélioration de la Sologne. Becquerel a été nommé professeur de physique au Muséum d'histoire naturelle en 1837, administrateur de cet établissement jusqu'à sa mort, membre de l'Académie des Sciences (1829), membre correspondant de la Société royale de Londres, etc. En 1874, l'Académie des Sciences voulut lui donner un témoignage d'estime et de sympathie en faisant frapper une médaille en son honneur. « Je suis aujourd'hui l'interprète de l'Académie, dit, le 18 avril, son président, M. Bertrand, en remettant à M. Becquerel la médaille qui vient d'être frappée à son intention. M. Becquerel a été reçu en 1829; il occupe sa place ici depuis quarante-cinq ans bien sonnés, et il était si bien de l'Académie depuis longtemps déjà, bien que les circonstances n'aient pu permettre de le recevoir, que nous avons voulu devancer l'heure exacte de la cinquantaine. »

Dans un ouvrage intitulé : *Des forces physico-chimiques et de leur intervention dans la production des phénomènes naturels* (1875, in-8°, avec pl.), M. Becquerel a exposé toutes ses recherches depuis 1823 sur le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques; et il a traité avec de grands développements tout ce qui concerne les courants électro-capillaires, et il a exposé les principaux phénomènes de l'atmosphère.

Becquerel n'a pas publié moins de 529 ouvrages et mémoires, parmi lesquels nous citerons : *Traité de l'électricité et du Magnétisme* (Paris, 1834-1840, 7 vol. in-4°); *Traité d'électro-chimie* (in-3°); *Traité de Physique appliquée à la chimie et aux sciences naturelles* (2 vol. in-8°); *Traité de Physique terrestre et de Météorologie* (1847); *Traité des Engrais inorganiques*; *Des Climats et de l'influence des sols boisés et*

déboisés (in-8°); *Traité de l'électricité et du Magnétisme* (1855, 2 vol. in-8°).

Châtillon-sur-Loing, sa patrie, lui a élevé une statue en 1882.

Becquerel (Louis-Alfred), médecin français, fils aîné du précédent, né à Paris en 1814, mort en 1862. Parmi ses ouvrages, nous citerons un *Traité des Applications de l'électricité à la thérapeutique médicale* (1853).

BIFILAIRE (Bobine). — (V. BOBINE.)

BIFILAIRE (Suspension). — Dans les appareils où il s'agit de suspendre une pièce mobile quelconque, une aiguille, par exemple, de telle façon qu'elle soit constamment rattachée à sa position initiale par un couple de faible intensité, mais croissant avec l'angle d'écart, on suspend souvent la pièce mobile par deux fils parallèles. Cette disposition, dite *suspension bifilaire*, a été réalisée, pour la première fois, par Harris, qui construisit une nouvelle balance pour vérifier les expériences de Coulomb.

La théorie de ce mode de suspension est très simple. A l'état d'équilibre, les deux fils sont dans un même plan vertical. Quand on fait dévier l'aiguille, les fils prennent une direction oblique; l'aiguille se relève un peu, et l'action de la pesanteur tend à la ramener à sa position initiale.

Si l'on désigne par p le poids de l'aiguille, α son angle de déviation, r la demi-distance des deux fils et l leur longueur, on trouve facilement que le moment résultant développé sur l'aiguille a pour expression :

$$\frac{p}{l} r^2 \sin \alpha.$$

Si l'on fait osciller l'aiguille, on trouve que la durée des oscillations est proportionnelle à la racine carrée de la longueur des fils et en raison inverse de la distance.

Elle est, de plus, proportionnelle au rayon de giration du corps suspendu aux deux fils et indépendante de son poids.

BIJOUX ÉLECTRIQUES. — Différentes personnes ont eu l'idée de se servir des effets de l'électricité fournie par les PILES ou les ACCUMULATEURS pour obtenir des bijoux articulés ou lumineux. C'est M. Trouvé qui a obtenu les résultats les plus curieux à ce point de vue.

Les bijoux articulés sont mis en mouvement sur la personne qui les porte au moyen d'une pile électrique grosse comme un étni, qui peut être logée dans une poche de gilet, et ne fonctionne que lorsqu'on le veut en l'inclinant d'une certaine manière. Ces bijoux sont fixés au bout d'épingles et se placent comme tous les autres dans les cheveux, à la garniture de la robe, etc. Mais ils se relient à la pile par un fil invisible. Ce sont : un petit lapin microscopique qui frappe un timbre avec deux baguettes, un singe qui joue du violon, un grenadier qui bat la charge, un turco qui grimace à plaisir, un oiseau en diamant qui bat des ailes et de la queue, un papillon posé sur une fleur qui y plonge sa petite trompe et agit ses ailes, etc.

Les bijoux lumineux consistent simplement en fleurs, bouquets, diadèmes, pierres précieuses, cristaux taillés de différentes couleurs, etc., éclairés par de petites LAMPES À INCANDESCENCE, actionnées soit par une pile portative, soit par de petits accumulateurs.

Ces bijoux lumineux ont été utilisés au théâtre.

Biot (Jean-Baptiste), astronome, mathématicien, physicien et chimiste français, né à Paris en 1774, mort en 1862. Après avoir fait de brillantes études au lycée Louis-le-Grand, il servit quelque temps dans l'artillerie; mais, cédant à sa passion pour l'étude, il quitta la carrière où il aurait pu se créer un brillant avenir, pour entrer à l'École polytechnique, en 1794. Il en sortit pour aller occuper une chaire à l'École centrale de Beauvais. En 1800, il fut nommé professeur de physique au Collège de France, et trois ans après, quoiqu'il fût encore bien jeune, il fut admis à l'Académie des Sciences.

En novembre 1800, lorsque Volta fut autorisé par le gouvernement napoléonien à venir répéter ses expériences devant l'Institut de France, le premier consul Bonaparte proposa de nommer une commission pour répéter en grand toutes ces expériences, et demanda qu'une médaille d'or fût décernée à Volta. Biot fut nommé rapporteur de cette commission et lut, dans la séance du 11 février an IX (décembre 1800) son rapport où se trouve pour la première fois exactement définie la notion de la force électromotrice. En 1804, lorsque l'Institut fut appelé à émettre un vœu en faveur de l'établissement de l'empire, Biot, qui voulait conserver son indépendance, refusa de voter, et il agit de même, en 1815, à propos de l'acte additionnel. En 1804, il entra à l'Observatoire de Paris et fit bientôt partie du Bureau des Longitudes. Alors il s'associa aux travaux d'Arago sur les pouvoirs réfringents des gaz, ainsi qu'à ceux de Gay-Lussac, qu'il accompagna dans sa première ascension aérostatique. Les deux savants s'élevèrent dans l'air à une hauteur de près de 4.000 mètres et firent ensemble des observations du plus haut intérêt. En 1806, Biot partit avec Arago pour l'Espagne, afin de continuer l'opération de la triangulation de la méridienne, commencée par Méchain. Il revint à Paris vers la fin de l'année, mais bientôt il alla rejoindre Arago et l'assista dans son travail à Formentera. En 1809, il fut nommé professeur d'astronomie physique à la Faculté des sciences, et bientôt son cours attira de nombreux élèves. En 1817, un nouveau voyage aux îles Orcades fut entrepris pour corriger les erreurs qui avaient pu se glisser dans les observations astronomiques sur lesquelles on avait établi la mesure de la méridienne.

Quoique Biot eût surtout consacré sa vie à des travaux scientifiques, il y joignit quelquefois des productions littéraires fort remarquables. Dès 1812, il écrivit un *Eloge de Montaigne*, qui obtint de l'Académie française une mention honorable, et qui aurait sans doute remporté le prix, si M. Villemain ne s'était pas mis au nombre des concurrents. Tous ces écrits ont paru réunis, en 1858, dans les *Mélanges scientifiques et littéraires* (3 vol. in-8). Ils lui avaient valu antérieurement sa réception à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, et plus tard à l'Académie française, en 1856.

Il nous reste à citer plus en détail, parmi les nombreux travaux de Biot, ceux qui ont eu le plus d'importance; mais auparavant encore, nous rapporterons un fait qui a trait à ses débuts dans la carrière. Le jeune savant, à peine connu alors, avait présenté à l'Institut un *Mémoire* qui fut couronné, et qui renfermait la découverte d'une loi astronomique nouvelle. Après la séance de l'Académie, Laplace, qui avait chaudement appuyé le *Mémoire*, emmena Biot dans son cabinet, et mit sous ses yeux un vieux cahier écrit de sa main où la même loi se trouvait exposée d'une manière complète; et le savant astronome n'en avait rien dit à ses collègues pour laisser au jeune lauréat toute la gloire de sa découverte.

Biot, du reste, initia le désintéressement de Laplace et se montra toute sa vie plein de bienveillance pour les jeunes gens qui entraient couragieusement dans la lice sans autre appui que leur amour pour la science.

Le « Journal de l'École polytechnique », les « Mémoires de l'Académie des Sciences », les « Mémoires d'Arcueil », le « Journal des Savants », les « Annales de physique », et d'autres recueils contiennent une foule d'études où Biot discute l'intégration des équations aux différences partielles les pouvoirs réfringents des gaz, les anneaux colorés des plaques épaisses, les phénomènes de coloration produits par la lumière polarisée, les propriétés optiques rotatoires du quartz, la polarisation lamellaire, l'invention de Dauguerre et ses perfectionnements, les réfractifs astronomiques, etc., etc. Outre cela, on doit à Biot les ouvrages suivants : *Analyse du Traité de la mécanique céleste de Laplace* (1801); *Traité analytique des courbes et des surfaces du second degré* (1803), souvent réimprimé avec un léger changement dans le titre; *Essai sur l'histoire générale des sciences pendant la Révolution* (1803); *Traité élémentaire d'Astronomie physique* (1803), dont la 3^e édition a paru en 1850 avec des additions considérables, en 6 vol. in-8; *Recherches sur les réfractifs ordinaires qui ont lieu près l'horizon* (1808); *Tables barométriques portatives* (1811); *Recherches expérimentales et mathématiques sur les mouvements des molécules de la lumière autour de leur centre de gravité* (1814); *Traité de physique expérimentale et mathématique* (1816, 4 vol. in-8); *Précis élémentaire de physique expérimentale* (1817); *Recherches sur plusieurs points de l'astronomie égyptienne* (1823); *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques*, avec Arago (1821); *Notions élémentaires de Statistique* (1828); *Lettres sur l'approvisionnement de Paris* (1835), etc.

BLANCHIMENT PAR L'ÉLECTRICITÉ. — Procédé de blanchiment imaginé par M. Hermite, et basé sur une réaction chimique découverte par ce dernier au moyen de l'électrolyse du chlorure de magnésium. Ce chlorure en solution aqueuse est soumis à l'influence d'un courant électrique avec des électrodes insolubles. Ce qui est intéressant, c'est qu'on n'a aucune substance et qu'on retrouve en totalité le chlorure de magnésium, car ce chlorure est régénéré. Le courant décomposant l'eau, on ne dépense, en définitive, que de l'électricité. En effet, sous l'action du courant électrique, deux équivalents de chlorure de magnésium sont décomposés en même temps que l'eau : le magnésium se porte au pôle négatif, décompose l'eau pour s'oxyder et former de la magnésie, tandis que l'hydrogène se dégage avec celui provenant de la décomposition de l'eau. Le chlore se porte au pôle positif, où il s'oxyde avec l'oxygène de l'eau décomposée pour former de l'acide hypochlorique; mais cet acide, en présence d'une base, la magnésie, se dédouble immédiatement en acide chloré et en acide chlorique, qui se combinent avec la magnésie libre pour former du chlorite et du chlorate de magnésie, lesquels sont décomposés par le courant avant le chlorure de magnésium restant au bain, leur chaleur de combinaison étant moins élevée que celle de ce dernier sel.

Le magnésium se porte de nouveau au pôle négatif et s'oxyde en décomposant l'eau, tandis que les acides chloré et chlorique sont mis en liberté, et, s'ils sont en présence d'une matière organique, lui cèdent leur oxygène pour former de l'acide chlorhydrique, qui se combine avec la magnésie en liberté pour régénérer le chlorure de magnésium. Ainsi, dit M. Hermite, on ob-

flant un cycle complet dans lequel le chlore sert simplement de véhicule pour fixer de l'oxygène emprunté à l'eau, sur la matière organique. (« Lum. élect. », novembre 1883.)

Nous avons vu une application de ce procédé à l'exposition d'Anvers, en 1885. Les résultats obtenus étaient très satisfaisants.

Ce procédé présente certainement de l'avenir; son efficacité est due, suivant nous, particulièrement à la production d'ozone et d'eau oxygénée qui accompagne toute électrolyse, et, à la rapidité de l'action près, il peut être rapproché de l'ancien mode de blanchiment, qui consistait à étendre les étoffes sur les prés et à les exposer au soleil.

Blavier (Édouard-Ernest), ingénieur électricien, né à Paris en 1826, mort le 14 janvier 1887. Il a été inspecteur général des lignes télégraphiques et directeur de l'École supérieure de Télégraphie. Il était aussi vice-président de la Société internationale des électriciens et membre du Comité technique d'électricité de l'Exposition de 1889. La section des Applications télégraphiques et téléphoniques l'avait élu président. Il a publié les ouvrages suivants : *Cours théorique et pratique de Télégraphie électrique* (1857, in-12); *Nouveau traité de Télégraphie électrique, cours théorique et pratique* (1865-1867, 2 vol. in-8°); *Considérations sur le service télégraphique* (1872, in-8°); *Traité des grandeurs électriques et de leur mesure en unités absolues* (1881, in-8°); *Essais périodiques des lignes électriques aériennes* (1885, in-8°). Il a publié, en outre, de nombreux mémoires dans les « Comptes rendus de l'Académie des Sciences », et dans les « Annales télégraphiques », qu'il dirigeait.

BLOCK-CIBLES. — Appareil destiné à assurer la sécurité du personnel d'observation et à éviter les accidents auxquels sont exposés les marqueurs dans les tirs à la cible. Un block-cibles doit réaliser les conditions suivantes : empêcher matériellement le tir si les marqueurs ne sont pas à l'abri, et, réciproquement, les observateurs étant enfermés dans un abri, les empêcher matériellement d'en sortir tant que le tir n'est pas impossible.

C'est l'analogie existant entre ce problème et celui de la couverture des trains par le block-system, qui a engagé les inventeurs à baptiser les appareils qui en donnent la solution du nom de block-cibles.

Les block-cibles de M. M. Flamache, exposés à Anvers en 1885, sont disposés comme suit :

Devant les tireurs se meut un volet résistant qui empêche le tir quand il est abaissé et le permet quand il est relevé. Près de la cible se trouve l'abri de l'observateur; cet abri est fermé par une porte qui ne peut s'ouvrir quand le volet est relevé. Deux boîtes à enclenchement électrique sont placées, l'une à proximité du volet et commande son axe, l'autre dans l'abri et commande l'axe de la porte. On ne peut relever l'écrin du tir que lorsque la boîte correspondante à sa manivelle verticale, et réciproquement, on ne peut faire tourner cette manivelle que quand le volet est complètement abaissé; c'est là le but de l'enclenchement électrique. La communication d'un poste à l'autre s'obtient à l'aide d'un seul fil de ligne. Les sonneries qui sont placées à chaque poste sont indépendantes des signaux de block, ce qui permet de réaliser la conversation télégraphique par signaux acoustiques. Les indicateurs consistent en voyants : au local du tir l'apparition du voyant blanc signifie « on peut tirer », celle du voyant rouge « tir suspendu »; dans l'abri, l'apparition du voyant blanc signifie « on peut sortir »,

celle du voyant rouge, « abri fermé ». Ces indications se font automatiquement.

Si un observateur est enfermé dans l'abri et qu'il veuille sortir, il faut : 1° qu'il demande le déclenchement en pressant deux fois sur un bouton, ce qui produit deux coups de timbre près du tireur; 2° le tireur abaisse alors son volet en tournant la manivelle de la boîte d'enclenchement correspondante, il appuie sur un bouton pour avertir le marqueur; 3° le marqueur met la manivelle de sa boîte d'enclenchement dans la position verticale, et alors seulement il a la possibilité d'ouvrir sa porte. Ces trois opérations ne demandent pas plus de 35 secondes.

BLOCK-SYSTEM. — On désigne sous ce nom un mode d'exploitation des voies ferrées qui a pour double but d'augmenter la sécurité de la circulation et le rendement d'une ligne.

Avant de donner la description des appareils électriques qui permettent d'organiser ce mode d'exploitation, il importe d'en définir exactement le principe et d'examiner les différents cas qui peuvent se présenter dans l'application. Ce n'est qu'après avoir fait cette étude qu'il est possible d'apprécier les avantages et les inconvénients des différents types d'appareils employés en France et à l'étranger.

De nombreux ouvrages ont traité cette question; nous donnons ici un résumé des principaux.

En principe, exploiter une ligne par le block-system, consiste à diviser la voie en sections successives et à ne pas laisser circuler simultanément deux trains de même sens dans chacune de ces sections; de cette manière on est matériellement sûr qu'un train ne rejoindra pas le train précédent et l'on évite une cause d'accidents très sérieux.

C'est Cooke qui, en 1842, peu après l'apparition de la télégraphie électrique, songea le premier à substituer un intervalle kilométrique à l'intervalle de temps que l'on ménageait entre les trains se succédant sur une même ligne, et c'est sur une section à voie unique du chemin de fer anglais « Eastern Counties » que le block-system fut réalisé pour la première fois. Le but est atteint si on munit l'entrée de chaque section d'un signal quelconque et si on maintient ce signal à l'arrêt, empêchant les trains de passer, tant que la section qu'il protège n'est pas libre. Le moyen le plus simple d'y parvenir paraît être de placer un garde à l'entrée de chaque section, de mettre tous ces gardes en communication les uns avec les autres, de poste en poste, de leur confier la manœuvre des signaux d'arrêt et de ne les autoriser à ouvrir ces signaux, pour laisser passer les trains, que lorsqu'ils ont acquis l'assurance, en s'adressant au poste suivant, qu'il n'y a plus aucun train dans la section. Comme ces sections ont plusieurs kilomètres de longueur, il a fallu, dès le début, recourir au télégraphe électrique pour relier les signaux et leur permettre de s'annoncer l'entrée et la sortie des trains dans leur section.

Ainsi, des gardes à l'entrée des sections, des signaux visuels manœuvrés par ces gardes, et un système de correspondances électriques pour permettre aux agents de communiquer entre eux, voilà les seuls éléments constitutifs du block-system.

De la consigne donnée aux gardes, de ne laisser passer un train que si le précédent a déjà franchi un certain point de la voie situé au delà, résultent les avantages suivants :

La sécurité est certaine; l'espacement des trains s'obtient en fonction de leur vitesse, ce qui est plus rationnel et plus favorable à leur accélération que d'appliquer à tous les trains la même formule quelle que soit leur allure; la capacité de circulation des li-

gnes est augmentée, parce qu'en raccourcissant suffisamment les sections on peut permettre aux trains de se succéder de près sans danger (1).

Remarquons dès à présent que ce serait un tort de croire qu'on ne pénètre jamais dans une section bloquée, et d'appliquer le nom de *block-system absolu* à la règle purement théorique en vertu de laquelle un train attend indéfiniment à l'entrée d'une section qui n'est pas libre, en réservant l'appellation de *permissive-system* à la règle qui autorise les trains à entrer, sans s'arrêter, dans la section occupée. Cette méthode n'est heureusement pas appliquée en France. Même en Angleterre, sur les lignes exploitées par *l'absolute block telegraph*, on pénètre dans une section bloquée. Il est vrai que cette pénétration n'est permise qu'après constatation de la nature de l'incident qui motive la persistance du signal d'arrêt à l'entrée, et après que le mécanicien a été averti personnellement.

Par conséquent, le *block-system absolu*, dans le sens grammatical du mot, n'existe pas; il arrive toujours un moment où le train doit continuer sa route, après avoir reçu des recommandations plus ou moins rigoureuses. La seule différence, dans les conditions d'application, consiste dans la constatation de la cause de l'incident, que les uns prescrivent de rechercher, tandis que les autres présumant, en tout cas, qu'il y a détresse d'un train dans la section bloquée et ne permettent, après un certain délai, la pénétration dans cette section qu'avec toutes les précautions qu'on imposerait à un train de reconnaissance ou de secours.

Les premiers block-systems ont été réalisés en France au moyen de simples disques ordinaires et du télégraphe établi aux stations. Ce dernier mode est encore en vigueur en Hollande; mais il ne permet guère de laisser les trains se succéder à moins de 25 à 30 minutes en moyenne. Il a donc fallu chercher des appareils qui permettent une meilleure utilisation des lignes. La question de principe une fois arrêtée, tous les perfectionnements apportés aux premiers appareils de block-system n'ont eu d'autre but que de garantir l'exploitation des chemins de fer de la faillibilité humaine. On n'a rien ajouté au programme primitif, mais on a combiné avec le block-system le principe des enclenchements, qui prenait naissance peu de temps après: c'est ce que les Anglais ont appelé le *block and interlocking-system*.

Après avoir laissé pendant quinze ans la manœuvre des signaux complètement indépendante, le développement pris, dans les douze dernières années, par les enclenchements, a donné l'idée de rendre solidaires les signaux optiques s'adressant aux mécaniciens et les signaux électriques mettant en relation les gardes échelonnés sur la voie.

Enfin, puisant à l'extrême l'idée de solidariser les deux séries de signaux, et dépassant peut-être le but, deux ingénieurs veulent faire intervenir le train dans la manœuvre des signaux; ils cherchent à appliquer franchement le système automatique.

Le block-system a donc subi trois évolutions:

D'abord le block simple, puis le block and interlocking, enfin le block automatique.

Quel que soit d'ailleurs le système de block dans lequel rentrent les appareils des uns à l'appliquer, il

1. L'opinion contraire est assez répandue en Angleterre: cela tient sans doute à la rigueur des prescriptions concernant le block-system, et à la liberté laissée aux Compagnies pour la mise en marche des trains. La sécurité n'est pas aussi sauvegardée en Angleterre qu'en France; le block-system a accru le rendement des lignes en France, sans amoindrir la sécurité, tandis qu'en Angleterre il a accru la sécurité, mais il se peut qu'il ait réduit le rendement.

ya deux cas à examiner, selon la méthode adoptée pour l'exploitation des lignes:

1^o Ou les règlements prescrivent que la voie doit être normalement libre, et que les signaux doivent être mis à l'arrêt seulement pour couvrir un point de la voie qui est occupé; c'est la *méthode de voie libre*; 2^o Ou bien on considère tout point de la voie comme dangereux, ce qui conduit à laisser en permanence à l'arrêt tous les signaux de la ligne et à ne les effacer que quand la voie est demandée pour autoriser le passage d'un train; c'est la *méthode de voie fermée*.

Suivant le principe choisi, les appareils de block doivent remplir des conditions sinon différentes, du moins plus ou moins nombreuses.

La méthode de voie libre est appliquée sur les chemins de fer français, en Autriche, en Belgique, en Allemagne et en Italie. En Angleterre, c'est la voie fermée qui domine.

Nous n'avons pas à examiner ici à laquelle de ces méthodes il convient de donner la préférence. Disons seulement que, avec la voie normalement fermée, il faut le concours de trois postes consécutifs pour qu'un train franchisse celui du milieu, tandis que deux seulement interviennent quand la voie est normalement ouverte.

Block simple. — 1^o Voie libre. — Soit deux postes A et B, situés en pleine voie, et un train circulant dans le sens de la flèche entre ces deux postes (fig. 1). Ce train est couvert, au poste A, par un

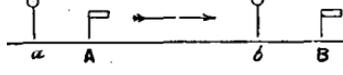


Fig. 1.

signal d'arrêt absolu, que le garde a mis à l'arrêt quand il a vu passer le train, et par un signal d'arrêt à distance a que le même garde a mis à l'arrêt pour empêcher qu'un second train ne franchisse le signal d'arrêt absolu. Enfin ce train a été annoncé au poste B par le poste A, bien que ce ne soit pas à une condition essentielle du block-system; mais elle offre l'avantage de préparer B à agir de même quand le train se présentera. A ce moment, en effet, B met à l'arrêt son propre signal d'arrêt absolu et son signal à distance b, annonce le train au poste suivant et *débloque* enfin la section AB, c'est-à-dire qu'il annonce au poste A en arrière que le train a quitté la section AB. Aussitôt, A remet son signal à distance et son signal d'arrêt absolu à voie libre, de manière à laisser le passage libre à un train suivant.

En résumé, il faut à chaque poste, pour chaque sens de circulation: un signal d'arrêt absolu, disque ou sémaphore, bien visible des mécaniciens, le levier d'un signal à distance, enfin deux COMMUTATEURS, dont l'un sert à annoncer électriquement les trains au poste suivant, et l'autre à aviser le poste précédent que la voie est libre. Il faut encore, comme bonne règle pour la sécurité, que ces annonces électriques comportent des accusés de réception.

2^o Voie fermée. — Soient trois postes successifs A, B, C en pleine voie, et un train circulant dans le sens de la flèche, entre A et B (fig. 2). A chacun de ces trois postes existe un signal d'arrêt absolu normalement fermé. Dès qu'il a reçu de A l'avis que le train annoncé pénétrait dans la section AB, le poste B commence par demander la voie au poste suivant C,

et il n'efface son signal d'arrêt absolu que quand il a reçu du poste C l'assurance que la section BC est libre. Ce n'est qu'après avoir vu passer le train et après avoir mis à l'arrêt derrière lui, pour le couvrir, son signal d'arrêt absolu, que B débloque la section AB en donnant au poste A l'avis que cette sec-

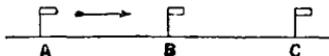


Fig. 2.

tion est libre. Mais A n'efface pas pour cela son signal. Il n'est pas indispensable, bien que cela soit préférable, d'après certains ingénieurs, de doubler les signaux d'arrêt de chaque poste par des signaux à distance; car le mécanicien, théoriquement du moins, doit être en mesure de s'arrêter, le cas échéant, au signal de chaque poste, puisque la voie est normalement fermée. En résumé, outre ces signaux qui s'adressent aux mécaniciens, le garde de chaque poste doit disposer de deux ou mieux de trois commutateurs pour chaque sens de circulation. En effet, il est désirable que l'annonce des trains en avant et la demande de la voie au poste suivant se fassent par des signaux distincts et indépendants. D'ailleurs, comme dans le cas précédent, il est fort utile que chaque signal électrique comporte un accusé de réception.

Block interlocking. — Pour passer du block simple au block interlocking, il suffit de se poser comme condition de rendre matériellement obligatoire l'ordre dans lequel doivent s'exécuter les diverses manœuvres.

1^o Voie libre. — Les signaux doivent être enclenchés ou solidarisés de manière qu'il soit impossible : — D'effacer le signal d'arrêt absolu placé à l'entrée d'une section, si le poste placé à l'autre extrémité ne l'a pas débloqué;

— De bloquer une section sans annoncer préalablement ou simultanément le train au poste en avant;

— De débloquer une section sans avoir préalablement bloqué la section en avant;

— Enfin, de mettre à l'arrêt le signal absolu, sans avoir préalablement fermé le signal à distance.

2^o Voie fermée. — Le problème diffère très peu de celui donné pour la voie libre, mais l'enclenchement est inverse; on doit ne pouvoir donner la voie, en effaçant le signal, qu'avec l'autorisation du poste suivant, et ne pouvoir donner voie libre au poste précédent que quand on a remis son propre signal à l'arrêt. Mais la demande de voie, simple question qu'il faut pouvoir poser en tout temps, peut évidemment se faire par un signal indépendant et non enclenché.

Ce qui précède ne concerne que les postes en pleine voie, c'est-à-dire ceux où il n'existe pas de moyens de garage; mais, dans les stations, l'interlocking-system donne lieu à des problèmes plus complexes, qu'il nous paraît inutile de traiter ici.

Nous examinerons seulement le cas d'une bifurcation.

Bifurcation. — Le problème de la dépendance des sections comprend alors deux cas :

1^o Les branches se détachant du tronc commun ne sont pas toutes deux pourvues du block-system;

2^o Les branches sont toutes deux pourvues du block-system.

1^{er} cas. — Soit un poste de bifurcation B sur une ligne AC manie du block-system, tandis que la ligne BD n'en est pas pourvue (Fig. 3).

Il faut que la dépendance des sections soit réalisée quand un train circule de A vers C et réciproquement, et qu'elle soit au contraire supprimée dans le cas où c'est un train de l'embranchement BD qui se présente à la bifurcation. Il est clair que ce cas rentre dans celui d'une gare de passage, si l'on assimile les trains de l'embranchement à des

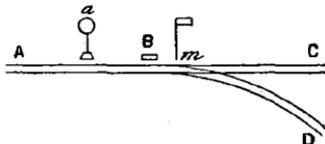


Fig. 3.

trains qui doivent se garer. Par conséquent, la solution peut être la même, c'est-à-dire que les appareils de block doivent être solidarisés toutes les fois qu'on dirige un train de A vers D, c'est-à-dire chaque fois que l'on change la position de l'aiguille en point *m*. En pratique, au lieu de faire intervenir l'aiguille *m*, il est plus simple, si le signal d'arrêt *a* qui précède cette aiguille sur le tronc commun est muni de deux leviers servant à l'effacer, un pour la direction BC, l'autre pour la direction BD, de recourir à ce signal *a*. Le levier correspondant à la direction BC doit alors être relié à l'appareil de block-system, de manière que le renversement du levier ait pour effet de rompre la dépendance des sections AB, BC, et que cette dépendance se rétablisse aussitôt d'elle-même.

Naturellement, pour les trains qui viennent de D, c'est-à-dire quand on manœuvre l'aiguille *m*, la même condition n'est pas nécessaire, car la manœuvre du sémaphore pour bloquer la section AB derrière un train qui pénètre est toujours possible indépendamment de l'autre section du poste C.

2^e cas. — Si les deux branches sont exploitées par le block-system, en supposant le signal *a* manœuvré par deux leviers, tout se passera comme dans le cas précédent, avec cette différence que c'est le levier gauche de *a*, dont le mouvement désolidarise AB, BC, la dépendance des sections existant en principe entre AB et chacune des sections BC, BD.

Les palettes superposées *c*, *d* du sémaphore sont

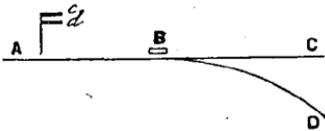


Fig. 4.

sur plusieurs réseaux (Angleterre, Compagnie de P.-L.-M., etc.) identifiées avec les signaux d'arrêt de la bifurcation, la palette supérieure *c* s'adressant à la direction BC (Fig. 4). La question se réduit alors à obtenir une solidarité alternative de l'appareil servant à débloquer A, soit avec la manœuvre de *c*, soit avec la manœuvre de *d*.

Suppression de l'annonce d'un train. — Lorsqu'un train se présente à l'entrée d'une section bloquée, il doit s'y arrêter, en principe, jusqu'à ce que la voie soit libre; mais, en fait, il faut bien que l'on finisse par y pénétrer, ne fût-ce que pour aller au secours d'un train en détresse, moyennant, bien entendu, des précautions déterminées, variables suivant les règlements.

Soit donc trois postes consécutifs A, B, C (fig. 5) : supposons qu'un train (ou une machine) *m* se trouve

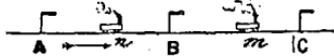


Fig. 5.

vant dans la section BC, qui est par suite bloquée en B, un second train se présente au poste B et soit autorisé, après la stricte observation des prescriptions en vigueur, à pénétrer dans la section BC, comme s'il s'agissait d'aller au secours du train *m* présumé en détresse.

Le signal B étant déjà à l'arrêt pour couvrir *m*, le garde ne peut le manœuvrer pour couvrir le second train; il faut attendre que C ait débloqué B pour le premier train *m*, puis immédiatement remettre B à l'arrêt pour le second train *n*; ce qui permet seulement alors de rendre la voie libre en arrière au poste A, en vertu du principe de la dépendance des sections successives. Si les sections sont indépendantes, c'est-à-dire si le garde B peut rendre la voie libre en A, sans fermer son propre signal, rien ne l'empêche de se dispenser de couvrir *n*, ou, pour parler le langage expressif des agents de chemins de fer, de *manger ce train*.

Il est clair que si, par extraordinaire, on engageait plus de deux trains à la fois dans une même section, cette conclusion pourrait se généraliser.

Mais, à moins d'une connivence ou d'une coïncidence aussi peu admissible l'une que l'autre, la dépendance des sections empêche les gardes de manger les trains, à la condition qu'elle soit réalisée, non par l'enclenchement mécanique du signal avec l'appareil servant au déblocage, mais par une liaison réciproque des appareils de blocage, disposés de manière qu'il soit toujours nécessaire de manœuvrer l'appareil de blocage autant de fois que l'on veut manœuvrer l'appareil de déblocage.

Pour s'affranchir absolument de ces connivences ou de ces coïncidences à peu près purement théoriques, il faudrait avoir recours à des appareils disposés de la manière suivante : à chaque passage de train, ou à chaque pénétration, le garde n'aurait qu'à manœuvrer son signal. Si ce dernier était à l'arrêt, la force mécanique ou électrique ainsi dépensée serait emmagasinée simplement, pour servir à remettre automatiquement le signal à l'arrêt sitôt qu'il serait déclenché par le poste suivant. Mais il n'existe pas d'appareil mécanique ou électrique réalisant ce desideratum, et d'ailleurs il n'aurait pas un grand intérêt; car, lorsqu'il arrive fréquemment à un même poste qu'un train pénètre dans la section encore bloquée, on en conclut que cette section est trop longue ou que l'itinéraire des trains est mal tracé; on débloque alors la section ou on retouche le graphique de la marche des trains. Enfin, il est utile de faire remarquer que toutes les objections qui peuvent à la rigueur être prises en considération lorsqu'une ligne est exploitée d'après le principe de la voie ouverte perdent la plus grande partie de leur valeur lorsque la voie est normalement

fermée, et quand il faut que chaque poste demande la voie au poste suivant.

Block-system sur les lignes à voie unique. — On ne construit généralement à une seule voie que les lignes où le trafic est prévu comme ne devant pas acquérir d'importance avant plusieurs années et qui n'ont aucune utilité stratégique. D'autre part, on ne met en service le block-system que sur les lignes chargées de circulation dont on veut augmenter le rendement sans compromettre la sécurité.

Il n'y a donc pas ordinairement besoin de block-system sur les lignes à voie unique, puisque, si elles atteignent le point d'activité où ce mode d'exploitation devient nécessaire, elles ont dû dépasser auparavant la limite qui peut justifier le dédoublement de la voie, dédoublement qui supprime le problème grave des croisements de trains.

Il existe cependant, à l'étranger, quelques lignes à voie unique pourvues du block-system.

Description des différents systèmes de block. — Les différents systèmes d'appareils servant à réaliser l'exploitation par le block-system peuvent se diviser en trois grandes catégories :

- 1° Systèmes à appareils de correspondance indépendants des signaux extérieurs;
- 2° Systèmes dans lesquels est appliqué le principe de la solidarité entre les appareils de correspondance intérieurs et les signaux à vue extérieurs;
- 3° Block-systems automatiques.

1° Systèmes à appareils de correspondance indépendants des signaux extérieurs. — Sur les lignes anglaises on emploie les appareils Walker, Preece, Tyer et Spagnoletti, qui ne sont autres que des systèmes de correspondance électrique à indications restreintes, traduites par les manœuvres des signaux extérieurs, lesquels sont absolument indépendants. Ces divers appareils sont disposés pour l'exploitation des lignes par le principe des sections normalement fermées. Les appareils Walker, Preece et Tyer n'exigent qu'un seul fil, l'appareil Spagnoletti en exige trois.

Sur les cadrans des boîtes renfermant le mécanisme des appareils Walker et Preece se trouvent deux sémaphores miniature, manœuvrés électriquement et reproduisant les indications des signaux du poste situé à l'amont et du poste situé à l'aval, de sorte que le *signalier* n'a qu'à jeter les yeux sur le cadran de l'appareil de son poste pour voir si la section dans laquelle va s'engager le train est libre ou occupée; il manœuvre alors son grand sémaphore (signal placé sur la voie et s'adressant aux agents des trains) de façon à lui faire reproduire les indications du sémaphore miniature. Comme l'électricité atmosphérique peut, dans certains cas, troubler le fonctionnement des sémaphores miniatures, on annexe à l'appareil une sonnerie électrique qui indique toujours par son tintement que la voie est occupée. Enfin le signal de voie libre ne peut être obtenu que par l'action combinée des deux postes en correspondance, et un voyant répétiteur indique au stationnaire la position du bras du sémaphore miniature du poste voisin, ce qui constitue un contrôle utile.

Dans les appareils Tyer et Spagnoletti, les indications voie libre ou voie occupée sont données par des aiguilles qui viennent se placer en regard des mots voie libre ou voie occupée inscrits sur le cadran de la boîte renfermant le mécanisme.

La Compagnie de P.-L.-M. (France), pour diminuer les chances de fausse interprétation assez à craindre dans l'emploi du système Tyer, et aussi pour aug-

menter le nombre des indications qu'il est possible de transmettre avec cet appareil, y a adjoint un avertisseur (système Jousseulin).

Cet avertisseur comprend un manipulateur et un récepteur analogues au manipulateur et au récepteur du télégraphe à cadran, de Bréguet. Le récepteur porte un cadran divisé en un certain nombre de cases (11 ou 21) dans lesquelles sont inscrits les chiffres 1 à 10 ou de 1 à 20 et une croix; une aiguille très forte, munie d'une poignée, parcourt les divisions contenant les chiffres et au-dessus desquelles se trouvent des cartouches portant les indications à transmettre. L'aiguille obéit à un rouage très simple. Elle est sollicitée à tourner par un ressort, et elle est arrêtée par un enclenchement porté par la palette d'un électro-aimant, en sorte qu'à chaque émission de courant (quel que soit le sens de ce courant) l'aiguille déclenchée avance d'une division. Le ressort moteur est fixé à l'axe de l'aiguille; en la ramenant à la croix au moyen de la poignée, on remonte en même temps le ressort. Chaque fois que l'aiguille avance d'une division un coup de timbre résonne; l'attention de l'agent auquel s'adresse le signal est ainsi attirée. Le manipulateur est le bouton poussoir de l'appareil TYER. Ce bouton n'ayant d'autre effet que de faire fonctionner la sonnerie au poste correspondant, sans modifier la position des aiguilles, on peut monter l'avertisseur ou récepteur Jousseulin sur le circuit même de l'appareil TYER, et utiliser pour manipulateur le poussoir de ce dernier; mais pour éviter des erreurs, un compteur spécial à guichet indique au signalateur le nombre de coups qu'il a transmis. Ce compteur se compose d'un plateau circulaire portant les mêmes divisions que le récepteur. A chacune des émissions de courant (faite à l'aide du bouton poussoir de l'appareil TYER ou à l'aide d'une poignée dont est muni le compteur), un système d'encliquetage fait tourner le plateau d'une division, et un guichet pratiqué dans la boîte de recouvrement laisse voir un chiffre qui représente le nombre des émissions de courant que l'on a produites. Quand la transmission est terminée, on appuie sur un index qui dégage l'encliquetage, et le plateau revient à la croix. On peut aussi, à l'aide d'un enregistreur spécial, inscrire les signaux transmis par l'indicateur.

On a essayé sur les chemins de fer de l'État français un appareil de block-system, imaginé par MM. Leblanc et Laisean, qui permet la correspondance entre les deux postes extrêmes d'une section sans aucune liaison entre les manipulateurs avertisseurs et les signaux visuels; il est jusqu'ici sans intérêt pratique.

2° Systèmes dans lesquels est appliqué le principe de la solidarité entre les appareils de correspondance intérieurs et les signaux à vue extérieurs. — Procédé signalé en 1863 le grand intérêt qu'il y aurait à pouvoir manœuvrer par l'électricité le grand signal visible extérieurement. En 1873, MM. Lartigue, Tesse et Prudhomme réalisèrent ce desideratum; leurs premiers électro-sémaphores furent mis en expérience régulière en 1874, sur la ligne de Paris à Croix, et en 1877, sur la ligne de Paris à Brétigny; de cette époque datent les inventions de M. Saxby et Farmer (*interlocking-system*); on comprit les avantages de l'emploi des enclenchements électriques commandant les manœuvres des signaux extérieurs.

Aujourd'hui le principe de la solidarité des appareils de correspondance électriques et des signaux à vue est universellement admis, et il existe de nom-

breux systèmes résolvant ce programme. Les plus connus et les plus employés sont :

En Allemagne : les block-systems Siemens et Halske pour voie double et pour voie unique;

En France : les électro-sémaphores Lartigue, Tesse et Prudhomme pour voie double et voie unique;

Le block-system Regnault pour double et simple voie;

Le block-system Jousseulin, Chaperon et Rodary pour double voie;

En Angleterre : les appareils Sykes, les appareils Saxby et Hodgson.

Block-systems Siemens et Halske. — Les appareils Siemens et Halske, qui s'appliquent au système d'exploitation à voie normale fermée, sont caractérisés par l'emploi de COURANTS D'INDUCTION pour produire tous les mouvements. L'aile du sémaphore (signal extérieur) d'un poste est calée électriquement à l'arrêt, tant que la protection du train qu'il couvre n'est pas assurée en un autre point de la ligne.

L'appareil électrique de correspondance (dont les indications s'adressent au stationnaire d'un poste de block) est solidaire des leviers des sémaphores (signaux extérieurs dont les indications s'adressent aux agents des trains), de sorte que la manœuvre de l'un entraîne la manœuvre des autres.

Un seul fil de ligne suffit pour les deux directions de marche.

Chaque poste intermédiaire se compose d'un sémaphore à deux ailes, s'adressant l'une à la voie montante, l'autre à la voie descendante. Ces ailes sont manœuvrées à l'aide de manivelles commandées par deux appareils d'enclenchement distincts, contenus dans une même boîte.

Dans cette boîte se trouve aussi un INDUCTEUR Siemens, qui sert à envoyer aux postes voisins les courants électriques destinés à agir sur les enclenchements de ces postes.

Les liaisons mécaniques sont disposées de telle sorte que (fig. 6) :

1° L'agent d'un poste A ne peut pas débloquer élec-



Fig. 6.

triquement le sémaphore du poste en arrière sans avoir mis son sémaphore à l'arrêt pour couvrir le train et l'avoir enclenché dans cette position;

2° L'agent du poste B a seul le pouvoir de rendre libre la manœuvre de l'aile du poste A, une fois qu'elle est calée à l'arrêt.

L'enclenchement de l'aile du sémaphore est commandé par les mouvements d'un secteur denté circulaire *l*, en prise avec une ancre d'échappement (fig. 7 et 8). Cette ancre est portée sur l'axe d'une armature polarisée *d*, oscillant sous l'influence des courants alternatifs d'induction entre les pôles d'un électro-aimant *c*, *c*. Lorsque aucun courant ne passe dans cet électro, le magnétisme de l'armature la fixe contre l'un des noyaux, de sorte que l'ancre et le secteur sont immobilisés. Lorsque au contraire des courants alternatifs envoyés par la manœuvre de l'inducteur *i* du poste voisin passent dans l'électro-aimant, l'ancre oscille et permet le déplacement graduel du secteur vers le haut ou vers le bas, suivant que ce secteur est sollicité par un ressort ou par son propre poids.

Dans sa position supérieure, le secteur enclenche à

l'arrêt l'aile du sémaphore (fig. 7); tandis que dans sa position inférieure (fig. 8), il laisse cette aile libre. Le secteur porte un voyant mi-parti blanc, mi-parti rouge, qui apparaît derrière un gâchet pratiqué dans la boîte; le voyant blanc correspond à la position du sémaphore libre, et le voyant rouge à celle du sémaphore enclenché. Quand une section BC n'est occupée par aucun train (fig. 6), l'aile du sémaphore B est à l'arrêt, mais libre; le voyant est blanc; si, dans ces conditions le signaleur veut introduire dans cette section un train (actuellement couvert en A), il efface l'aile de son sémaphore, et par cette manœuvre, il immobilise

le commutateur qui sert à envoyer à A les courants déclencheurs, puis il remet l'aile à l'arrêt, après le passage du train, et son commutateur se trouve dégagé de nouveau. Pour rendre libre le sémaphore A, il enfonce la tige de son commutateur à pousser *b* (fig. 7) et tourne en même temps la manivelle de l'inducteur *i*. Deux effets se produisent alors :

1° En B, l'ancre oscille; le secteur, rendu libre par ces oscillations, s'élève peu à peu sous l'action du ressort mis en jeu par la pression de la tige du poussoir; le voyant rouge apparaît et l'aile du sémaphore est enclenchée à l'arrêt (fig. 7).

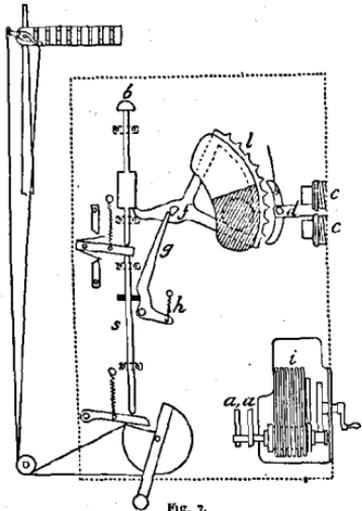


Fig. 7.

Mécanisme intérieur de l'appareil d'enclenchement du sémaphore Siemens (voie fermée).

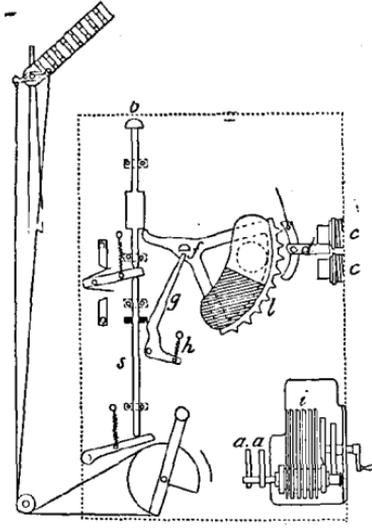


Fig. 8.

Mécanisme intérieur de l'appareil d'enclenchement du sémaphore Siemens (voie libre).

2° En A, l'ancre de l'appareil oscille par le passage des courants dans l'électro-aimant; le secteur s'abaisse par son propre poids, montre le voyant blanc et rend libre la manœuvre de l'aile du sémaphore (fig. 8); A peut alors expédier un nouveau train; mais le premier, actuellement entre B et C, est couvert en B.

Des sonneries avertissent le signaleur du moment où son sémaphore est rendu libre. Ce signaleur doit, en même temps qu'il introduit un train dans une section, l'annoncer au poste suivant par une sonnerie qui est, du reste, complètement indépendante du block, mais qui utilise le même inducteur et le même fil de ligne.

Avec ces appareils de block à enclenchement continu, la protection d'un train entrant dans une section est assurée; dans le cas même où un signaleur aurait abandonné son poste, le train serait arrêté, mais il serait sûrement couvert par le poste précédent.

La continuité du block doit être coupée à toute gare importante ou à tout point de la ligne où doit se garer un train pour en laisser passer un autre; de là deux cas à considérer :

1° *Cas des grandes gares.* — A l'entrée de la gare, on place un appareil dit de *couverture de gare*, semblable aux appareils des postes intermédiaires, sauf que la manœuvre qui cale l'aile à l'arrêt, en décalant l'aile du poste précédent, a pour effet de faire apparaître électriquement un voyant rouge dans un appareil situé dans le bureau du chef de gare (cet appareil est appelé *poste de gare*). Le poste de gare est lui-même semblable aux appareils de pleine voie, si ce n'est qu'il ne manœuvre pas de signaux à vue et que son secteur porte la couleur rouge dans sa partie supérieure. Il est relié à l'appareil de couverture de gare par deux fils.

Soit A, B et C, trois postes consécutifs dont le poste intermédiaire B est une grande gare, *b* est l'appareil de couverture de gare du côté de A, *b'* celui

du côté de C. Enfin b , est l'appareil appelé *poste de gare* (fig. 9).

L'aile du sémaphore du poste de couverture de gare b est normalement enclenchée à l'arrêt, et le voyant est rouge, ainsi que celui du poste de gare b . Quand un train approche de b , le signaleur demande par sonnerie au poste de gare b , l'autorisation de laisser entrer le train; il rend ainsi libre la manœuvre de l'aile

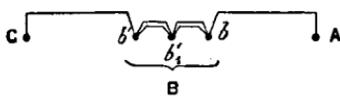


Fig. 9.

du sémaphore b , et fait apparaître les voyants blancs dans l'appareil b par l'abaissement du secteur de b_1 , et dans le sien par relèvement de son propre secteur. Le signaleur de b efface l'aile à l'arrêt et laisse passer le train. Puis, après avoir remis son sémaphore à l'arrêt, il rend voie libre au poste A, et, par cette manœuvre, cale son sémaphore dans cette position d'arrêt et fait apparaître les voyants rouges simultanément dans son appareil et dans celui du poste de gare b , qui est ainsi prévenu que le train va entrer. Les deux voyants restent au rouge jusqu'à l'arrivée d'un nouveau train. Le poste b' , symétrique du poste b situé à la sortie de la gare, remplit le rôle de poste de couverture de gare pour les trains circulant dans le sens CB; quand le train part de la gare B pour entrer dans la section BC, le poste de gare b l'annonce simplement par un coup de sonnerie au poste b' , origine de la section de block $b'C$.

2° *Cas des petites gares.* — L'organisation décrite ci-dessus ne serait pas applicable aux petites gares, à cause de la dépense et de l'augmentation de personnel qu'elle entraînerait. La boîte en fonte renfermant les organes électriques du poste unique placé dans cette gare est percée d'un trou, ordinairement fermé par un clapet scellé à la cire. En enlevant ce clapet, on peut, après avoir rendu voie libre en arrière, faire osciller à la main l'aiguille d'échappement, abaisser le secteur et décaler mécaniquement l'aile du poste sans l'intervention du poste suivant. Quand on expédie le train gare, le sémaphore doit être mis à l'arrêt et calé dans cette position; ce résultat s'obtient en manœuvrant à la main l'aiguille et le secteur sans faire usage de courants électriques, qui pourraient rendre indûment voie libre au poste précédent.

Sur certains chemins allemands, un compteur indique combien de fois le clapet a été enlevé.

Enfin, sur quelques lignes, on a doublé le block-system par l'emploi de cloches allemandes. (V. CLOCHES ÉLECTRIQUES.)

Les appareils Siemens et Halske employés sur les lignes à voie unique sont les mêmes que ceux applicables sur les lignes à double voie; mais, tandis que dans ce dernier cas les appareils relatifs à une même direction de marche sont reliés ensemble électriquement, dans le cas de la voie unique chaque appareil relatif à une direction est relié à l'appareil du poste voisin relatif à la direction inverse. Il en résulte que le signaleur placé

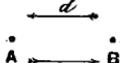


Fig. 10.

en A, en rendant libre l'appareil du poste B relatif à la direction d , cale à l'arrêt l'aile du poste A relative à la direction d' , et inversement (fig. 10).

BLOCK-SYSTEM

Sur les sections à voie unique les cloches sont montées sur le circuit du block, de manière que la

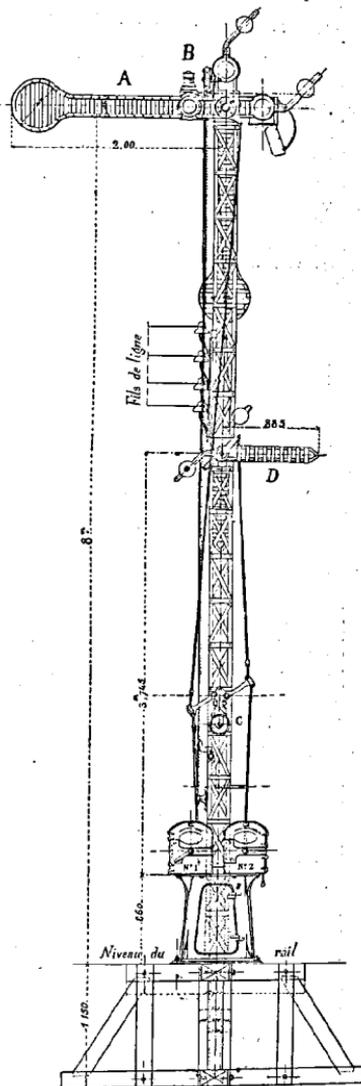


Fig. 11. — Vue d'un Appareil électro-sémaphorique du système Lartigue.

manœuvre qui donne l'acceptation d'un train dé-
clenche toutes les cloches de la section.

Appareils Lartigue, Tesse et Prudhomme. — Ces appareils, qui sont employés par les Compagnies du Nord, de l'Est, d'Orléans, s'appliquent aux exploitations à voie normalement ouverte; on les désigne sous le nom d'électro-sémaphores.

A l'extrémité de chaque section de block est placé un mât sémaphorique (fig. 11). L'agent chargé de sa manœuvre, en mettant à l'arrêt le signal visuel qui couvre un train s'engageant dans une section, fait apparaître électriquement au poste suivant vers lequel se dirige ce train un signal qui prévient l'agent de ce poste de son arrivée. Le signal d'arrêt fait par le premier poste, lors du passage du train, ne peut être décalé et effacé que par le poste placé à l'autre extrémité de la section, lorsque l'agent de ce dernier poste efface le signal à l'aide duquel il a été avisé. On voit, en résumé, que l'agent d'un poste met le signal à l'arrêt et le cale mécaniquement; l'électricité n'intervient que pour l'effacer, et l'effacement ne peut être fait que par le poste suivant.

L'électro-sémaphore d'un poste intermédiaire se compose d'un mât en fer muni de deux grandes ailes rouges placées à la partie supérieure et de deux petites ailes jaunes placées vers le milieu du mât (fig. 11). Les ailes rouges s'adressent aux trains circulant respectivement sur chacune des voies principales. Les ailes jaunes servent à annoncer l'entrée ou la sortie des trains et ne s'adressent qu'aux agents du poste. La manœuvre de ces ailes se fait à l'aide d'un système de tringles reliées mécaniquement aux appareils électro-mécaniques renfermés dans des boîtes placées au pied du mât sémaphorique.

L'appareil électro-mécanique qui commande la grande aile est désigné sous le nom d'appareil n° 1 (fig. 12); celui qui manœuvre la petite aile, sous celui d'appareil n° 2 (fig. 13). Ces deux appareils, presque identiques comme construction, se composent d'une boîte de fonte renfermant un commutateur-inver-

seur B formé d'un disque en ébonite sur le pourtour duquel sont fixés des contacts en bronze *d, d, d* servant à établir les communications électriques par l'intermédiaire de frotteurs *e, e, e*. Ce commutateur est

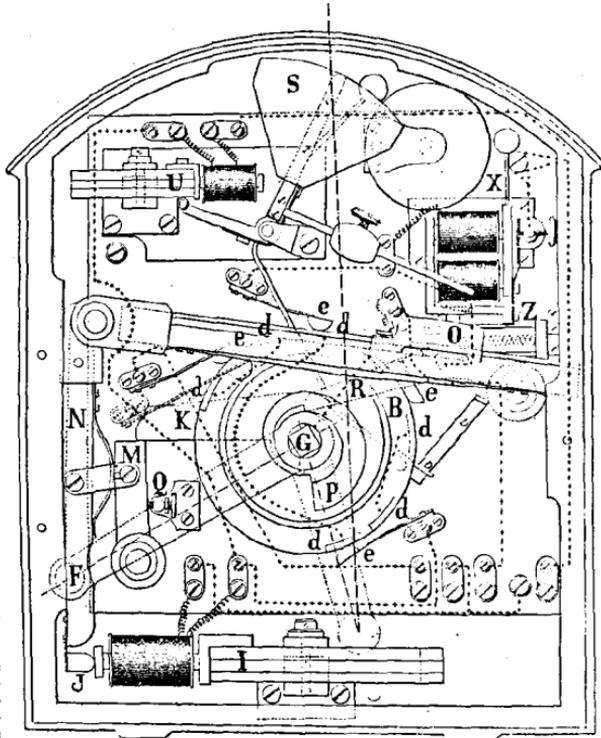


Fig. 12. — Appareil électro-sémaphorique n° 1. Vue intérieure; porte et croisillons élevés. Grande aile A (fig. 11) apparente. Appareil enclenché.

manœuvré par une manivelle F dont l'axe G commande une bielle articulée avec la tringle de tirage de l'aile correspondante. Quand on fait faire à la bielle un peu plus d'une demi-révolution, on exerce un effort de traction sur la tringle, et on amène l'aile à la position horizontale. Cette aile est alors maintenue invariablement dans cette position par un doigt K, reposant sur un butoir M, qui reste vertical tant qu'un levier à palette J, dont il dépend, adhère à un électro-aimant Hughes I, placé au bas de la boîte.

Le levier à palette et par suite le butoir ne sont dérangés de leur position qu'autant qu'un courant envoyé du poste correspondant vient affaiblir l'électro-aimant Hughes. Dans ce dernier cas seulement, le levier est écarté de sa position par l'effet d'un contre-poids O; le butoir entraîné laisse échapper le doigt d'arrêt, la manivelle continue sa rotation, et l'aile libérée reprend sa position primitive, c'est-à-dire redevient ver-

tiale. Dans cette révolution de l'axe, une came hélicoïdale P ramène la palette au contact de l'aimant et le butoir dans la situation voulue pour arrêter de nouveau le doigt d'arrêt. Le rôle de l'électricité se borne

à coup de timbre et par l'apparition d'un voyant S, un accusé de réception, ce qui permet aux agents de connaître la situation exacte des ailes des deux postes situés en deçà et au delà. Les pièces dont l'accusé

de réception sont actionnées au moyen d'un électro-aimant Hughes U placé dans la partie supérieure de la boîte; cet électro-aimant présente la même résistance que celui dont dépend le butoir d'enclenchement de la grande aile sémaphorique, et l'enroulement des bobines est tel, que le courant qui affaiblit l'un de ces électro-aimants renforce l'autre, et réciproquement.

Les appareils électro-mécaniques n° 2 qui commandent les petites ailes comprennent, outre les pièces décrites ci-dessus, un commutateur V permettant à l'agent d'un poste sémaphorique d'échanger avec l'agent du poste voisin (situé en avant ou en arrière), à l'aide d'un sonnerie tremblante placée dans la boîte n° 1 des signaux acoustiques conventionnels; Z est un PARATONNERRE, et W une tringline permettant d'opérer à la main le déclenchement de l'aile jaune. La position d'arrêt de la grande aile est indiquée à la nuit par un double feu rouge et vert.

Les fig. 12 et 13 donnent la vue intérieure d'un appareil électro-sémaphorique n° 1 et d'un appareil n° 2, ce qui permet de comprendre le jeu du mécanisme dont nous avons indiqué le principe.

Voici maintenant le mode d'emploi du système :

Au moment du départ du train, l'agent du premier poste A, en faisant un demi-tour de manivelle, met à l'arrêt la grande

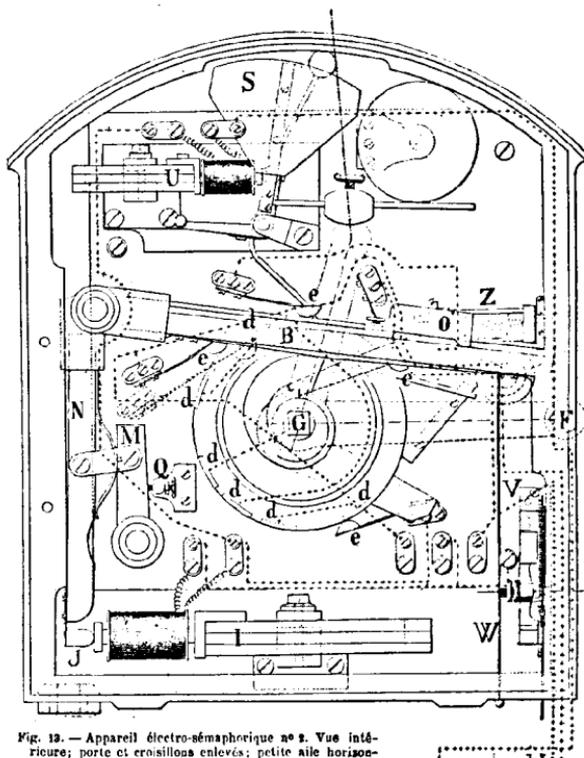
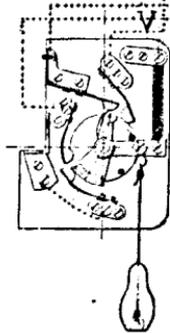


Fig. 12. — Appareil électro-sémaphorique n° 2. Vue intérieure; porte et crochets enlevés; petite aile horizontale D (fig. 11) apparente. Appareil déclenché.

à affaiblir l'électro-aimant et à déclencher à distance. Un cliquet R détermine la rotation de l'axe toujours dans le même sens (de droite à gauche) et fixe par deux dents de rochet deux positions correspondantes de la bielle, l'une verticale, l'autre à 210° environ.

L'appareil de manœuvre de la grande aile d'un poste est relié par un simple fil télégraphique à l'appareil qui agit sur la petite aile au poste correspondant. C'est le commutateur-inverseur lui-même qui, en tournant, envoie successivement soit le courant positif, soit le courant négatif d'une pile Leclanché. Le courant négatif se produit pendant la première demi-révolution de la manivelle, c'est-à-dire pendant que le garde met la grande aile à l'arrêt. Le courant positif se produit pendant la seconde demi-révolution de la manivelle, c'est-à-dire au moment où le signal que l'on a voulu produire au poste correspondant est exécuté; il fournit automatiquement à ce poste, par un



aile de son côté, et envoie ainsi un courant électrique qui fait apparaître l'aile jaune du poste B. Il a couvert son train et l'a annoncé; il reçoit l'accusé de réception automatique de son avis, et son rôle est fini.

Au passage du train devant le second poste B, le garde doit couvrir le train en l'annonçant à C (appareil n° 1); puis il manœuvre mécaniquement son aile jaune par un demi-tour de manivelle (appareil n° 2), et envoie par ce mouvement un courant qui déclenche et efface la grande aile de A; il reçoit les accusés de réception, et devient passif à son tour. Il ne pourra effacer lui-même le signal protecteur de la section dont il garde l'entrée. On voit que le stationnaire doit d'abord manœuvrer l'aile qui protège la section en avant et annoncer le train, et effacer en second lieu l'aile du poste A. L'ordre dans lequel s'opèrent ces deux manœuvres distinctes est nécessaire pour qu'un train ne risque pas d'être, ne fût-ce qu'un instant, sans protection.

Modifications apportées aux appareils Lartigue. — Dans les appareils tels qu'ils viennent d'être décrits, aucune disposition mécanique ou électrique n'oblige le stationnaire à suivre un ordre logique dans la manœuvre des ailes. On a cherché à remédier à cet inconvénient, c'est-à-dire à assurer la dépendance des deux manœuvres, tout en se réservant la possibilité de la supprimer dans certains postes où elle entraînerait des difficultés au point de vue de la circulation.

M. Mors, constructeur des appareils Lartigue, a ajouté dans ce but, à l'intérieur des boîtes de manœuvre, des contacts supplémentaires à la circonférence du commutateur-inverseur. Sur l'axe de ce commutateur se trouve un doigt de butée dont la position est telle, qu'on ne puisse manœuvrer la manivelle de la boîte n° 2 (c'est-à-dire débloquer la section quittée par le train) qu'après avoir manœuvré la manivelle de la boîte n° 1 (c'est-à-dire bloqué la section où il entre.) Un commutateur spécial, placé dans la gare à la disposition seulement du chef de service, permet à ce dernier d'interrompre, pour un cas spécial, la dépendance des sections; mais cette dépendance se rétablit par le fait même du blocage du premier train qui a dépassé le train resté en gare.

Une autre solution du problème consiste (système Sarfaux) à intercaler entre les deux boîtes de manœuvre n° 1 et n° 2 du sémaphore une boîte supplémentaire munie, sur ses deux faces opposées, de manivelles dont les axes sont solidaires de ceux des contre-manivelles des deux boîtes n° 1 et n° 2 et contenant un appareil électrique qui remplit le même but que la disposition mécanique de M. Mors.

Enfin, M. Mors a essayé un dernier perfectionnement, applicable au cas où les sémaphores, postes d'arrêt absolu, sont doublés d'un disque protecteur à distance. Un interverrouillage mécanique peut rendre le disque à distance solidaire de l'aile du sémaphore, de telle sorte que ce disque ne puisse être ouvert en aucun cas tant que l'aile du sémaphore est à l'arrêt. Le stationnaire ne peut mettre son aile à l'arrêt, et par suite rendre voie libre à l'arrière, qu'après avoir préalablement mis le disque à distance à l'arrêt; réciproquement, lorsque l'aile du sémaphore a été relevée, il est impossible d'ouvrir le disque à distance; ce dernier reste fermé jusqu'à ce que le poste suivant déclenche et efface électriquement l'aile du sémaphore.

La Compagnie de l'Est a imaginé une disposition purement mécanique qui remplit les deux buts indiqués plus haut : dépendance des sections et solidarité des manœuvres du sémaphore et du disque à distance. (Système Chaillaux.)

La Compagnie d'Orléans a fait suivre aux appareils

Lartigue installés sur son réseau diverses modifications ayant pour but d'empêcher que le signal d'arrêt fait après le passage d'un train ne puisse être détruit par aucune autre cause que la manœuvre régulière faite au poste vers lequel se dirige le train (Modification Heurteaux et Guillot). L'adjonction d'un commutateur permet, pendant tout le temps qu'un train est signalé par la petite aile jaune, d'envoyer dans l'appareil électrique enclenchant l'aile au poste d'arrière un courant qui renforce l'action de l'électro-aimant enclencheur et cède doublement cette aile à l'arrêt; si, malgré cette précaution, l'aile venait à tomber indûment, le tintement d'une sonnerie spéciale d'alarme préviendrait les deux postes entre lesquels a eu lieu le dérangement, que les signaux sont faussés. Enfin, une autre sonnerie permet de savoir, dans le cas où un train arrive à un poste sans être annoncé par la petite aile, si cette irrégularité provient d'un dérangement de l'appareil électrique ou si le stationnaire a oublié de couvrir sa section. Cette sonnerie résonne sans l'action d'un possesseur d'épreuve, toutes les fois que les ailes correspondantes des deux postes sont bien en positions concordantes et reste silencieuse dans le cas contraire.

Block-system Regnaud. — Les appareils de block-system ou indicateurs Regnaud, employés depuis longtemps par la Compagnie de l'Ouest français, ont une certaine analogie avec les APPAREILS TYER ordinaires. Ils ne présentent pas de solidarité entre les signaux optiques extérieurs et les signaux s'adressant seulement aux agents du poste. Ils ont été modifiés de façon à établir une solidarité complète entre ces deux sortes de signaux. A cet effet, on a ajouté :

1° Un enclenchement mécanique entre les signaux optiques d'un poste et les possesseurs de l'appareil indicateur de ce poste; grâce à cet enclenchement, le stationnaire ne peut débloquer le poste à l'aval avant d'avoir couvert le train par son disque à distance, ni annoncer le train au poste d'amont avant d'avoir placé à l'arrêt le signal carré qui ferme l'entrée de cette section.

2° Une serrure électrique, qui permet à un poste d'autoriser ou d'empêcher la manœuvre du signal local (signal carré) du poste situé à l'aval. Le fonctionnement de cette serrure est solidaire des indications des aiguilles indicatrices de ce dernier poste; elle réalise la solidarité entre les manœuvres de deux postes par l'intermédiaire des manipulateurs.

Cette serrure comprend les pièces suivantes : Un pêne fixé par un cliquet porté par l'armature d'un électro-aimant Hughes. Au repos, l'armature est en contact et le cliquet est en prise. Si le poste d'amont envoie un courant négatif, l'électro-aimant étant affaibli, l'armature cesse d'être attirée, et le cliquet, sollicité par un ressort antagoniste, lèche le pêne; la serrure est ainsi ouverte et reste dans cette position tant qu'un courant positif, envoyé par la manœuvre du disque lui-même, ne vient pas renforcer l'électro-aimant. Lorsque ce dernier effet a été produit, l'électro-aimant attire son armature et le cliquet se remet en prise. On voit ainsi que l'enclenchement du disque est une conséquence de la manœuvre faite pour le mettre à l'arrêt.

Le système est applicable aux sections à voie unique. Dans ce cas, chaque gare est protégée à l'amont et à l'aval par deux disques qui, normalement, sont fermés et enclenchés électriquement. Soient maintenant deux gares consécutives, A et B. L'agent de la gare A ne peut pas ouvrir la serrure électrique qui enclenche son disque de départ vers B; c'est B qui ouvre ce disque, lorsque A lui a demandé la voie. Et A ne peut faire cette demande qu'autant que l'aiguille

de son indicateur n'annonce aucun train venant de B. Ensuite, A ne peut débloquer B ni lui demander la voie (même dans le cas où l'aiguille de l'indicateur ne signale pas l'arrivée d'un train circulant en sens inverse) avant d'avoir protégé par son disque, à distance, le train qui a été expédié par B et d'avoir fermé son disque de départ vers B. Dans le cas où il est nécessaire d'ouvrir la serrure électrique deux fois de suite (cas d'un garage, etc.), il faut avoir le concours de l'agent du poste suivant.

Block-system Jousselin, Chaperon et Rodary. — La Compagnie P.-L.-M. a cherché un nouvel appareil de block-system établissant la dépendance entre les signaux électriques et les signaux optiques, de façon à rentrer dans les conditions normales de l'exploitation par le block-system. Ce système d'électro-sémaphores, qui fonctionne à l'aide de courants de piles, est trop complexe pour qu'on puisse en faire une description qui soit en même temps succincte et compréhensible; les efforts demandés à l'électricité sont uniquement des effets de déclenchement. Les appareils sont parfaitement bien étudiés et remplissent toutes les conditions du programme. Ils sont installés sur la grande ligne de Paris à Lyon.

On distingue trois sortes de postes :

1° *Les postes terminus*, comprenant : un sémaphore à deux bras (l'un des bras s'adresse aux trains en partance et permet ou interdit à ces trains la sortie du poste, l'autre s'adresse aux trains arrivants et permet ou interdit à ces trains l'entrée du poste et couvre la voie principale), un disque avancé, un répétiteur de disque, une pile, un INDICATEUR JOUSSELIN et un appareil de block simple.

2° *Les postes intermédiaires de pleine voie*, comprenant : un sémaphore à deux bras (un pour chaque direction), deux disques avancés, deux répétiteurs de disques, une pile électrique, deux indicateurs Jousselin et un appareil électrique double de block divisé en deux moitiés destinées, l'une aux relations avec le poste précédent, l'autre aux relations avec le poste suivant.

3° *Les postes intermédiaires de gare*, comprenant : deux sémaphores placés en avant des points ordinaires de stationnement des machines des trains de chaque sens, deux disques avancés, deux répétiteurs de disques, une pile électrique, deux indicateurs Jousselin et un appareil électrique double de block.

Voici les manœuvres à effectuer par les agents des postes : Soient deux postes intermédiaires de pleine voie A et B. Quand un train se présente au poste A, l'agent de ce poste le couvre en mettant successivement à l'arrêt le disque et le bras du sémaphore du poste; il annonce le train au poste B par le seul fait qu'il a mis le sémaphore à l'arrêt; il maintient le disque et le sémaphore à l'arrêt jusqu'à ce que l'appareil de block ait indiqué, par l'apparition d'un voyant blanc, que le train a dépassé le poste B. L'agent de ce dernier poste, pour rendre voie libre à A, pousse un bouton; il envoie ainsi un courant électrique qui ne fait pas tomber l'aile du sémaphore, comme dans l'appareil Lartigue, mais qui déclenche seulement cette aile, ce qui permet au stationnaire du poste A de l'effacer, ce stationnaire étant prévenu, comme il a été expliqué plus haut, que cette manœuvre est possible.

Block-system Sykes. — Ces appareils s'appliquent à l'exploitation par voie normale fermée; ils réalisent, à l'aide d'électro-aimants Hughes, l'enclenchement à distance des leviers de manœuvre des signaux à vue, et la solidarité complète entre les signaux électriques de correspondance et les signaux extérieurs,

mais sans manœuvre électrique dirigée des signaux visuels et sans annonce en avant, visible pour tous, de l'arrivée prochaine d'un train. Il existe une véritable solidarité entre trois postes successifs; le poste intermédiaire B ne peut permettre l'entrée, qui lui est demandée par A, d'un second train dans la section A-B avant que le premier train soit réellement entré dans la section suivante B-C, et le sémaphore du poste B ne peut laisser entrer ce premier train dans cette section B-C avant que le poste C, sur la demande du poste B, ait permis cette entrée.

Dans le cas de garage d'un train, il faut adopter des dispositions spéciales pour interrompre la continuité du block. Enfin, sur les points de bifurcations ou de garages, les poussoirs déclencheurs des appareils de block sont enclenchés mécaniquement par des pignons dépendant des leviers des signaux et des aiguilles, de manière que l'aile d'un sémaphore ne puisse être effacé avant que les aiguilles aient été faites pour une direction réellement libre et immobilisées dans cette position.

3° Block-systems automatiques. —

On peut adjoindre aux appareils décrits plus haut des dispositions automatiques qui guident et règlent les manœuvres que doivent faire les stationnaires, ou bien on peut imaginer des appareils de block entièrement automatiques dans lesquels les signaux optiques sont complètement supprimés; de là deux classes de blocks : 1° *les blocks à automatic restreinte*; 2° *les blocks complètement automatiques*, pour lesquels la présence des stationnaires devient inutile.

Voici la description succincte de ces divers systèmes :

Block-system Saxby et Hodgson. — Il s'applique aux voies doubles exploitées par sections normalement fermées. Les poignées de manœuvre des grils d'interverrouillage ordinaires des appareils Saxby sont enclenchés électriquement à distance. A chaque poste le levier du signal de départ permettant à un train de s'engager dans la section est normalement enclenché à l'arrêt; le poste A demande la voie au poste suivant B, qui la donne en déclenchant électriquement le levier de manœuvre de ce signal; mais le poste B ne peut donner cette autorisation qu'après avoir tourné le gril Saxby, qui immobilise les aiguilles ou signaux donnant entrée ou traversée sur la voie que va parcourir le train annoncé, et une fois que le poste B a envoyé le courant qui déclenche le signal du poste A, il ne peut reproduire cette manœuvre. Le poste B ne peut, enfin, débloquer une seconde fois le poste A avant que le train qui a dépassé le poste B, et qui se dirige vers le poste suivant C, n'ait passé sur une pédale située entre ces deux postes. Une clef spéciale, placée dans l'appareil du poste B, permet de reproduire les mêmes effets que la pédale, au cas où celle-ci ne fonctionnerait pas ou au cas où le train resterait au poste B pour y être garé. La pédale fonctionne par dépression du rail sous le poids de la locomotive. Ce système a été appliqué entre Bruxelles et Anvers.

Block-system automatique Spagnolotti. — Il a beaucoup d'analogie avec le précédent.

Block-system entièrement automatique de Ducoso. — Il consiste en contacts fixes placés sur la voie et en relation électrique avec des *DIFFÉRENTS ÉLECTROMOTEURS* placés sur les locomotives. Les traits caractéristiques de cet appareil sont : la protection automatique des trains, la suppression des signaux à vue, l'intervention d'un agent pour effacer la protection, sans que cet effacement puisse jamais avoir lieu

avant qu'une seconde protection du train soit assuré au poste suivant.

Block-system entièrement automatique de Ceradini. — Il se rapproche beaucoup du précédent. Les signaux destinés aux mécaniciens se produisent exclusivement sur la locomotive même et sont principalement acoustiques. L'absence ou le non-fonctionnement de ces signaux indique *danger*. Les appareils sont compliqués, délicats et encore insuffisamment sanctionnés par la pratique.

(BANDERALI, Rapport du jury à l'Exposition d'électricité de Paris, 1881; G. DUMONT, Applications de l'électricité aux chemins de fer, 1883.)

BLUTERIE ÉLECTRIQUE. — Appareil inventé en Amérique par MM. Thomas, Osborne et Kingsland Smith, et destiné à la séparation du son et de la farine dans les gruaux, sans production d'aucune poussière. Une bluterie électrique est fondée sur le principe suivant : Si on fait passer au-dessous d'un cylindre en matière isolante, convenablement frottée, des recoupes de gruaux ou des farines mêlées avec leurs sons, il se produit, sous l'influence de l'électrisation, une attraction des parties les plus légères de ces recoupes, et, par suite, la séparation du son et de la farine. Il a été reconnu que les substances qui donnent les meilleurs résultats sont le caoutchouc durci pour le cylindre, et un coussin de laine à l'état floconneux pour le frotteur.

BOBINE. — Nom générique donné à un tube creux terminé aux deux bouts par deux flasques en forme de disque percé de même matière, et destiné à y enrouler un ou plusieurs conducteurs électriques. On les construit avec différentes matières, soit métalliques telles que le laiton, soit isolantes telles que le bois, l'ébonite.

Bobines d'induction de divers genres, bobine de Ruhmkorff. (V. INDUCTION.)

Bobine d'induction à chariot. — Bobine employée pour modérer et régulariser les courants d'induction utilisés en médecine. (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.)

Bobine de résistance. — Bobine sans noyau servant à équilibrer, à augmenter ou à comparer à résistance d'un circuit où on la place. — Elle est formée généralement de fil de mallechort ou d'alliage platine et argent enroulé de telle sorte que chaque moitié de celui-ci soit en sens contraire de l'autre, afin d'annuler tout effet d'induction. (V. NOYAU DE RÉSISTANCE.)

Bobine bifilaire de Weber. — Bobine plate suspendue verticalement au moyen de deux fils qui s'en détachent tangentiellement et qui sont mis en communication avec une pile. Un pareil système se comporte comme un aimant. Ainsi, si le plan du bifilaire est parallèle au MÉRIDIEN MAGNÉTIQUE lorsque la bobine est à l'état neutre, on le voit se tordre sous l'action de la terre dès qu'on fait passer le courant, et l'équilibre s'établit lorsque le moment du couple terrestre est égal au moment de torsion bifilaire. (Gordon.)

BOITE DE RÉSISTANCE. — On désigne sous le nom de boîtes de résistance des appareils qui permettent de mesurer la résistance opposée au passage d'un courant électrique par un corps quelconque traversé par ce courant.

En principe une boîte de résistance renferme un nombre variable de bobines recouvertes de fil de mail-

lechort entouré de soie. (Le mallechort est un alliage de 50 parties de cuivre, 25 de zinc et 25 de nickel, dont la résistance électrique varie très-peu avec la température.) Le dessus de cette boîte est garni d'épaisse bandes de laiton dont la résistance électrique est si faible qu'elle peut être négligée (fig. 1). Les ex-

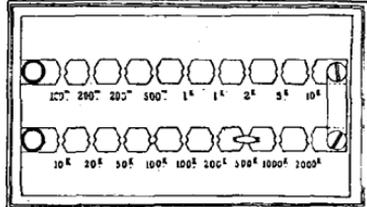


Fig. 1. — Vue en plan d'une Boîte de résistance.

trémities du fil de chaque bobine sont fixées à deux bandes successives (fig. 2).

Lorsque toutes les bandes sont reliées les unes aux autres au moyen de fiches, la résistance totale offerte par l'appareil intercalé dans un circuit sera insignifiante; mais dès qu'on retirera l'une de ces fiches, on

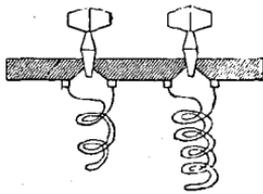


Fig. 2. — Vue intérieure d'une Boîte de résistance : Disposition des barres, des fiches et des bobines.

intercalera, par cela même, dans le circuit, la résistance de la bobine correspondante. En regard de chaque trou sa trouve un chiffre indiquant la résistance de la bobine, de sorte que pour établir une résistance déterminée on n'aura qu'à enlever les fiches convenables pour que le total des chiffres placés en regard de ces fiches représente la résistance introduite dans le circuit.

Les boîtes de résistance doivent être construites avec le plus grand soin pour donner des résultats exacts. Ainsi, les bobines qui constituent l'organe essentiel de l'appareil doivent être parfaitement équilibrées, le fil doit être bien isolé pour éviter des dérivations, il doit être enroulé comme l'indique la fig. 2, ses deux extrémités aboutissant aux bandes de cuivre qui garnissent la partie supérieure de la boîte. Ce mode d'enroulement a pour objet d'éviter l'induction des spires sur elles-mêmes et sur les bobines voisines.

Il existe différents modèles de boîtes de résistance, qui peuvent se rapporter à deux types principaux.

Le premier permet de réaliser toutes les résistances de 1 à 10.000 ohms avec un nombre de bobines minimum.

On prend généralement les chiffres suivants : 1, 2, 3, 5, 10, 10, 20, 50, 100, 100, 200, 500, 1.000, 1.000, 2.000, 5.000 (fig. 1).

Le deuxième type permet de lire plus facilement le total des résistances débouchées, tout en manipulant un moins grand nombre de fiches. La boîte comprend alors un plus grand nombre de bobines : 10 bobines de 1 ohm, 10 bobines de 100 ohms et 10 bobines de 1.000 ohms ; en tout 40 bobines (fig. 3, 4 et 5).

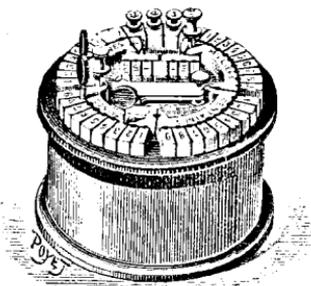


Fig. 3. — Boîte de résistance à décades de la maison Harbier (vue perspective).

On voit qu'il suffit de déplacer une fiche par rangée de bobines pour obtenir toutes les résistances de 1 à 40.000 ohms. La lecture de ces résistances est en même temps plus commode.

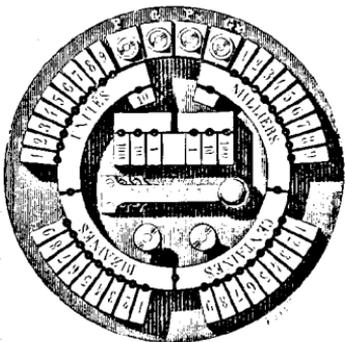


Fig. 4. — Boîte de résistance à décades de la maison Harbier (plan).

On appelle ces boîtes boîtes à décades ou boîtes à cadran.

On complète généralement les boîtes de résistance en y adaptant les circuits et les clés de contacts nécessaires pour former un pont de WHEATSTONE, et on leur donne le nom de boîtes à pont ; nous donnons, fig. 3 et 4, la vue en perspective et en plan d'une boîte de résistance à décades et à pont de la maison Harbier, et fig. 5, la vue d'une boîte à décades et à pont de la maison Carpentier.

BOITE DE RÉSISTANCE — BOUGIE

Pour vérifier les boîtes de résistance, on se sert d'un bobine étalon qui a exactement 1 ohm de résistance. Cet étalon est établi soit en maillechort, soit en alliage d'argent et de platine. Le fil, soigneusement isolé avec deux ou plusieurs couches de soie, est enroulé en double pour prévenir toute action extérieure.

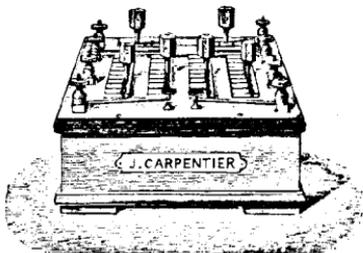


Fig. 5. — Boîte de résistance de 36 bobines disposées en décades, avec pont de Wheatstone.

Cette bobine est noyée dans de la paraffine et enfermée dans une enveloppe de cuivre étanche qui permet de la plonger dans l'eau pour la porter à une température déterminée, gravée sur la boîte et à laquelle on a mesuré l'étalon. Les deux extrémités du fil sortent à l'extérieur sous forme de deux tiges de cuivre rouge massif permettant de l'introduire dans le circuit à mesurer.

Les opérations à faire pour mesurer une résistance avec la boîte de résistance sont décrites à l'article MESURES ÉLECTRIQUES.

BOLOMÈTRE (des mots grecs *bolé*, rayon, et *mètre*, mesure). — Nom donné par l'inventeur, M. P.-S. Langlus, professeur à l'observatoire d'Aléghany, à un instrument destiné à apprécier les changements de température les plus faibles. Il se compose d'un pont de WHEATSTONE, dont deux bras sont constitués d'une façon toute spéciale. Ils sont formés de lames excessivement minces ($0^m,002 \times 0^m,005$) de métal, acier, platine, palladium ou autres. Ces deux systèmes de lames sont enfermés dans un cylindre de bois, de telle sorte que l'un d'eux soit affecté par les rayons calorifiques tombant sur le cylindre ; l'autre est protégé contre tout rayonnement. Aussitôt que des rayons de chaleur tombent sur le système, la série des lames non protégées s'échauffe, leur résistance augmente inégalement et l'aiguille du galvanomètre dévie d'une quantité qui permet de mesurer l'échauffement. D'après l'inventeur, cet instrument est assez sensible pour que l'on puisse apprécier très rapidement un changement de température d'un cent-millième de degré centigrade.

BOUÉE ÉLECTRIQUE. — Bouée éclairée à la lumière électrique. Cette bouée de grande dimension contient en contre-bas de la ligne de flottaison six accumulateurs, qui alimentent une LAMPÉ A INCANDESCENCE d'une intensité lumineuse de six bougies, située à 1 mètre au-dessus des flots. La lumière dure au minimum six heures.

BOUGIE ÉLECTRIQUE. — On désigne sous le nom de bougie électrique un système composé de deux

crayons de charbon aggloméré, placés parallèlement l'un à l'autre à une faible distance, et séparés soit par un corps isolant, soit par l'air; on met en communication avec une source électrique les deux extrémités voisines des deux crayons de charbon, et on obtient alors un arc voltaïque qui jaillit entre les deux autres extrémités.

Les bougies électriques, qui présentent, comme on le voit, sur les régulateurs, le grand avantage de supprimer complètement tout mécanisme, ont été imaginées par M. Jablochhoff en 1876. Depuis, d'autres inventeurs ont essayé de perfectionner ce genre d'éclairage; ils y ont médiocrement réussi, puisque les

bougies Jablochhoff sont à peu près les seules employées. Nous allons cependant donner une description succincte des principales bougies, à titre historique.

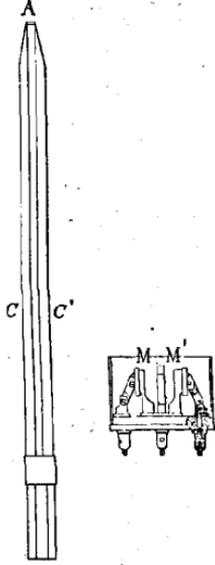


Fig. 1. — Bougie Jablochhoff.

Bougie Jablochhoff. — Elle se compose de deux crayons C et C' de 0^m,004 de diamètre et de 0^m,30 à 0^m,35 de longueur, placés parallèlement et séparés par un composé isolant, appelé *colombin*, formé de 2 parties de sulfate de chaux et 4 parties de sulfate de baryte (fig. 1). Ces deux baguettes sont serrées à leur partie inférieure dans deux mâchoires métalliques M et M' servant à les mettre en communication avec le courant électrique.

Les extrémités supérieures des deux crayons sont

réunies par une amorce A faite avec une pâte composée de graphite et d'eau gommée. Quand on fait passer le courant, la pâte s'échauffe, brûle, et l'arc voltaïque jaillit entre les extrémités des deux crayons; la chaleur de l'arc consume petit à petit les deux charbons tout en volatilisant le colombin. L'arc a toujours la même longueur par suite du parallélisme des charbons, et le tout s'use comme une bougie; de là le nom qui a été donné au système.

A côté des avantages très sérieux que présente l'emploi des bougies Jablochhoff, nous devons signaler les inconvénients suivants :

1^o La lumière est un peu blafarde et trop riche en rayons bleus et violets; sa nuance varie d'une façon très sensible et à chaque instant.

2^o Il se produit pendant la combustion des charbons un bondonnement continu, qui résulte de l'obligé de courants alternatifs; ce bruit est fort gênant.

3^o Le point lumineux se déplace au fur à mesure de l'usage de la bougie.

4^o Lorsqu'il se produit une extinction, par suite

d'une interruption de courant ou pour toute autre cause, la bougie ne peut plus être rallumée puisqu'elle n'a plus d'amorce, et la dépense des crayons de charbon se trouve ainsi augmentée dans une mesure assez sensible. On a remédié aux inconvénients résultant de ces extinctions en disposant sur le même chandelier plusieurs bougies et un commutateur à l'aide duquel on dirige le courant de la bougie éteinte à la suivante. Ce commutateur peut être automatique. Le plus pratique est le commutateur Charlot, dont voici le principe : à la base de chaque bougie et un peu au-dessus de la mâchoire métallique qui la porte, se trouve un fil de laiton fixé à l'un des charbons par une goutte d'alliage fusible. Ce fil de laiton soutient une tige métallique qui est poussée de haut en bas par un ressort. Au moment où la bougie est presque consumée, la chaleur de l'arc voltaïque fait fondre l'alliage, la tige métallique descend sous l'action du ressort, et ferme le circuit sur la bougie suivante qui s'allume. Ce système est employé depuis quelques années aux Magasins du Louvre, et il a procuré des économies assez importantes en permettant de supprimer le personnel qui était chargé auparavant de manoeuvrer le commutateur.

5^o Chaque bougie Jablochhoff exige une dépense de force motrice d'un peu plus d'un cheval-vapeur pour produire une lumière d'environ 38 carrels à feu nu et 22 carrels seulement lorsqu'on l'enferme dans un globe d'opale, ce qui est le cas habituel. Le prix de revient par heure est assez élevé eu égard au rendement lumineux.

Le courant nécessaire pour actionner une bougie doit avoir une intensité de 8 à 9 ampères, avec une chute de potentiel de 40 à 45 volts.

On peut employer indifféremment toutes les machines électriques à courants alternatifs. On se sert plus habituellement, en France, des machines auto-excitatrices de Gramme.

Bougie Wilde. — La bougie Wilde, qui date de 1879, se compose essentiellement de deux crayons de charbon C, C', ayant 0^m,003 à 0^m,004 de diamètre et 0^m,50 de longueur, fixés chacun vers la moitié de leur hauteur dans des pinces à ressort P P' (fig. 2). L'une de ces pinces P' est fixe, l'autre P est articulée sur un axe qui porte une armature en fer doux A, placée au-dessus d'un électro-aimant E et qui est munie d'un ressort de rappel maintenant le crayon mobile au contact du crayon fixe, lorsque aucun courant ne passe dans l'appareil. Lorsqu'au contraire le courant passe, l'électro-aimant, placé dans le circuit, attire la palette et le crayon mobile devient parallèle au crayon fixe, de sorte que l'arc voltaïque jaillit entre les deux extrémités séparées des crayons, et se maintient toujours de la même longueur par suite de leur parallélisme.

Les bougies Wilde présentent l'avantage de pouvoir se rallumer automatiquement puisque, dès qu'il y a une interruption dans le courant, le crayon mobile vient au contact du crayon fixe. La couleur de la lumière varie moins que celle des bougies Jablochhoff, mais les bougies Wilde possèdent tous les autres inconvénients signalés plus haut pour les bougies Jablochhoff. Lorsque la partie supérieure des charbons a été consommée jusqu'à une faible distance des supports, au moyen d'un poussoir spécial on remonte simultanément les deux crayons, de façon à les utiliser dans toute leur longueur.

Bougie Jamin. — Elle date aussi de 1879. Elle se compose, comme la bougie Wilde, de deux crayons de charbon C, C', de 0^m,002 à 0^m,003 de diamètre et de 0^m,30 environ de longueur (fig. 3); l'un est fixe et l'autre mobile autour d'un axe. Le mécanisme est presque identique à celui décrit plus haut; la seule

différence, c'est que l'arc voltaïque au lieu de se trouver en dessus se trouve en dessous, et que, pour empêcher cet arc de remonter le long des crayons, Jamin a imaginé de placer ces derniers au centre d'un cadre

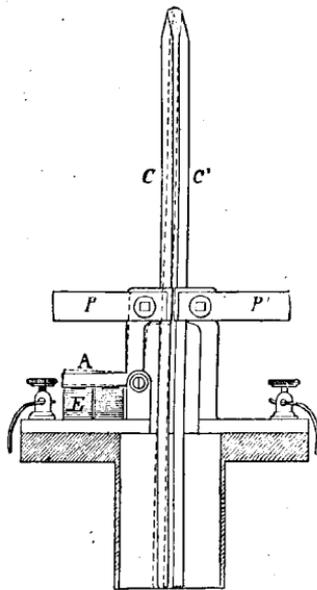


Fig. 2. — Bougie Wilde.

GALVANOMÉTRIQUE G et dans le même plan que lui. Conformément aux lois d'AMPÈRE sur l'action des courants sur les courants, le cadre galvanométrique, parcouru par un courant de même sens que celui qui produit l'arc voltaïque, le maintient aux extrémités des charbons. Les inconvénients de cette bougie sont les mêmes que ceux déjà signalés pour les bougies Jablochkoff et les bougies Wilde; elle présente, comme ces dernières, l'avantage de pouvoir se rallumer automatiquement.

Bougie Debrun. — Cette bougie se compose, comme celle de Wilde, de deux crayons de charbon de 0m,004 à 0m,006 de diamètre et de 0m,30 de longueur, disposés parallèlement et maintenus dans cette position par deux mâchoires à ressort qui amènent le courant aux charbons. A la partie inférieure de la bougie se trouve une tige de charbon solidaire d'une armature de fer doux placée en face d'un électro-aimant à résistance relativement grande et en dérivation sur les deux branches du courant. Lorsque la bougie est mise en communication avec la source d'électricité, comme les deux crayons de charbon ne se touchent pas, la totalité du courant passe dans l'électro-aimant; l'armature est attirée, et, par suite, la tige de charbon qui sert d'allumeur est appliquée sur les deux crayons. L'arc se produit à la base de ces derniers et remonte à leur extrémité supérieure, sollicité à la fois par l'air chaud et par l'action des courants sur les courants.

BOUGIE ÉLECTRIQUE — BOUSSOLE

M. Debrun recommande de rayer, soit à la lime, soit au papier émeri, les génératrices des crayons, afin d'enlever la croûte lisse qui les entoure et qui opposerait une résistance à l'ascension de l'arc voltaïque.

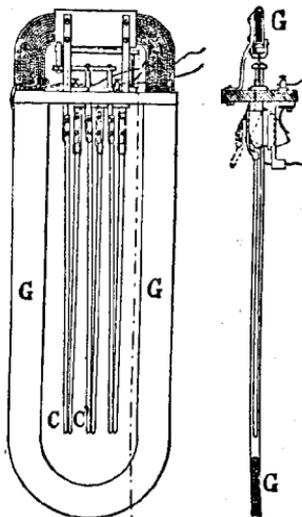


Fig. 3. — Bougie Jamin. (Élévation et Coupe transversale.)

Ces bougies présentent les inconvénients déjà signalés pour celles de Wilde et de Jamin.

BOUSSOLE. — Boîte contenant une aiguille aimantée librement suspendue autour d'un de ses axes, et dont les pointes sont constamment dirigées vers deux points de la terre voisins des pôles.

Boussole de déclinaison. — Pour faire comprendre ce qui va suivre, il est nécessaire de rappeler d'abord quelques définitions. On sait que le *méridien astronomique* d'un lieu est le plan qui passe par ce lieu et par l'axe de la terre, et que le *méridien magnétique* est le plan qui passe par le centre de la terre, et par la direction de l'aiguille aimantée horizontalement suspendue. Ces deux plans sont tous deux verticaux, puisque, passant l'un et l'autre par le centre de la terre, ils contiennent le vertical du lieu dans lequel on les considère; mais ces deux plans verticaux font ordinairement entre eux un angle auquel on a donné le nom de *déclinaison* de l'aiguille aimantée.

Tout appareil propre à déterminer la déclinaison de l'aiguille dans un lieu donné, s'appelle *boussole de déclinaison*. (V. AIGUILLE, AIMANT.) Cet appareil (fig. 1) doit donc indiquer à la fois le méridien astronomique et le méridien magnétique, et permettre de lire sur un limbe gradué l'angle de ces deux méridiens, angle qui est la déclinaison que l'on cherche. Pour atteindre ce triple résultat, voici la construction la plus généralement adoptée: Au centre d'une boîte circulaire en cuivre (il faut une substance qui ne contienne

aucune parcelle de fer), se dresse un pivot sur la pointe duquel repose une aiguille aimantée AB, très mobile sur cette pointe et parfaitement horizontale. Le contour de la boîte représente un cercle gradué dont les différents degrés peuvent être parcourus par les pointes de l'aiguille. Une glace garantit l'intérieur de la boîte des agitations de l'air. Aux parois sont appliqués deux montants verticaux qui supportent une lunette astronomique, mobile dans un plan vertical, et au-dessous de la lunette, un niveau à bulle d'air, destiné à obtenir la parfaite horizontalité de l'appareil. La trace du plan vertical passant par l'axe optique de la lunette figure sur le fond de la boîte une ligne CD, appelée *ligne de foi*. A l'extrémité E de l'arbre EF, on voit une partie de l'aiguille EH qui tourne avec l'arbre, mais qui est verticale quand la lunette est horizontale, et qui mesure,

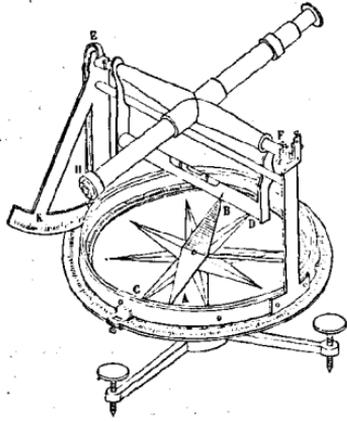


Fig. 1. — Boussole de déclinaison.

sur un limbe particulier K, l'angle que la lunette fait avec la ligne de foi, et par conséquent avec l'horizon. En visant donc une étoile située dans le méridien, l'angle que la direction de l'aiguille aimantée fait avec la ligne de foi est précisément la déclinaison cherchée.

La lecture de cet angle se fait en comptant le nombre de degrés compris, sur le fond de la boîte, entre la ligne de foi et l'axe de figure de l'aiguille; il en peut résulter une erreur, si l'axe de figure ne coïncide pas avec l'axe magnétique ou ligne des pôles, qui seule indique la véritable direction de la FORCE MAGNÉTIQUE. Il est bon de recourir à une deuxième lecture par la *méthode du retournement*. Pour cela, l'aiguille n'étant que superposée à la pointe du pivot, on retourne ses faces sans retourner ses pôles, de manière que la face supérieure devienne la face inférieure, et réciproquement. On obtient ainsi une nouvelle mesure pour la déclinaison. Prenant alors une moyenne entre les deux mesures obtenues, on a la déclinaison réelle.

Gambey a apporté, dans la disposition de l'appareil, des perfectionnements de détail qui en augmentent de beaucoup la sensibilité (Fig. 2). L'aiguille est remplacée par un petit barreau qui, au lieu de reposer sur un pivot, est suspendu par son centre de gravité à l'extrémité d'un fil de soie. L'autre extrémité de ce fil s'enroule sur un petit treuil dont le support peut

tourner horizontalement pour permettre de supprimer la torsion du fil. Il y a, comme dans l'ancienne boussole, un niveau et une lunette qui tourne verticalement. Il y a de plus une lunette qui tourne avec un cercle horizontal; elle sert à viser un objet éloigné, pour s'assurer que l'appareil ne se dérange pas pendant les observations. Le barreau aimanté est dans

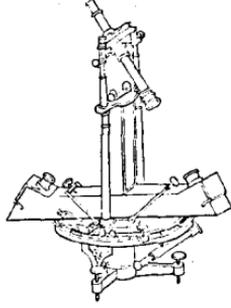


Fig. 2.

Boussole de déclinaison, perfectionnée par Gambey.

l'intérieur d'une boîte de forme oblongue, dont les extrémités portent deux ouvertures par lesquelles on peut voir les pointes du barreau. Si, avec la lunette supérieure, on vise un astre situé dans le méridien magnétique, et si l'on note sur le cercle horizontal la division correspondante, la quantité dont il faut ensuite faire tourner la boîte sur le cercle, pour que l'on puisse apercevoir les pointes du barreau, indique la déclinaison.

Dans la pratique, le calcul de la déclinaison magnétique est une opération très délicate. Elle exige ordinairement le concours de deux observateurs, tant pour déterminer le méridien astronomique que pour préciser l'écart de l'aiguille aimantée. M. James Odler, s'étant proposé de se passer d'auxiliaire dans cette opération, a imaginé une nouvelle forme de boussole, qu'il appelle *boussole azimutale* ou de *déclinaison absolue*, dont nous ne donnons pas la description, assez compliquée, et avec laquelle, en calculant l'azimut du soleil, on obtient la déclinaison magnétique par une simple soustraction. On sait, en effet, que le pôle du monde, le soleil et le zénith de l'observateur sont les sommets d'un triangle sphérique dont l'angle au zénith est l'azimut du soleil. Cet azimut n'est autre chose que l'angle fait par le méridien du lieu avec le plan vertical passant par le soleil. Si donc, à ce moment, on amène dans le plan vertical du soleil le zéro du limbe de la boussole, l'aiguille indiquerait précisément la valeur de cet azimut, si elle se dirigeait naturellement vers le vrai nord; par conséquent, la différence entre l'azimut fourni par la boussole et celui que l'on calcule trigonométriquement, d'après l'observation du soleil, sera précisément l'expression de la DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE.

Boussole d'arpenteur. — La boîte qui renferme l'aiguille est ordinairement carrée, et munie latéralement d'une lunette ou de deux pinnules dont la direction est parallèle à la ligne de foi du cadran, c'est-à-dire au diamètre à partir duquel se comptent les divisions. Le tout est porté sur un pied, comme

le graphomètre. Soit ABC (fig. 3) un angle à mesurer sur le terrain, angle dont le sommet A peut être inaccessible. Les côtés étant jalonnés, on place d'abord la boussole de manière que la lunette soit dirigée suivant l'un des côtés AB; la ligne de foi est alors parallèle à ce côté, et l'on observe sur le limbe la valeur de l'angle DOE formé par la ligne de foi,

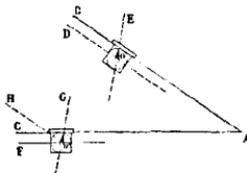


Fig. 3.

Boussole d'arpenteur.

ou par le côté AB, et par la direction de l'aiguille. On transporte ensuite la boussole de manière que la lunette soit dirigée suivant le second côté AC, et, comme précédemment, on note la valeur de l'angle FOG formé par la ligne de foi, ou le côté AC, et la direction de l'aiguille. On voit, à la seule inspection de la figure, que l'on a pour l'angle A :

$$A = FOH = FOG - HOG = FOG - DOE,$$

c'est-à-dire que l'angle cherché est égal à la différence des deux angles mesurés.

Boussole marine. — Cet instrument, connu aussi sous le nom de *compas de mer*, ou *compas de variation*, n'est autre chose qu'une boussole de déclinaison, moins la lunette et le niveau, avec un mode de suspension particulier, dit de *Cardan*, qui le maintient constamment horizontal, malgré les mouvements du navire. La lunette est remplacée par deux pinnules, qui se dressent aux extrémités d'un même diamètre de la boussole, et qui servent à viser une étoile ou tout autre objet situé dans le méridien. L'angle formé par la ligne de foi qui joint les deux pinnules et la direction de l'aiguille indique la valeur de la déclinaison. Cette valeur étant connue, il importe de savoir la route que le navire suit ou doit suivre; on d'autres termes, il faut déterminer fréquemment l'angle que fait le grand axe du navire avec le méridien géographique. Pour obtenir cet angle, on fait tourner la boussole de manière à amener la ligne de foi dans le grand axe, et l'on observe l'angle que fait l'aiguille avec cette ligne; ensuite, on en retranche ou l'on y ajoute la déclinaison préalablement connue.

La marine française emploie réglementairement la boussole circulaire de M. Duchemin. La rose de cette boussole se compose d'un ou de deux anneaux aimantés et d'une traverse d'acier ou de fer formant *ARMATURE* et réunissant les *POLARITÉS MAGNÉTIQUES* nord et sud. Ce système magnétique, légèrement nickelé, repose, par une chape en oxyd dur d'Allemagne, sur un pivot de platine iridié à ressort; son principal avantage, en dehors de la stabilité propre aux aimants circulaires, réside dans la puissance de l'aimantation et dans la fixité de la ligne des pôles rigoureusement déterminée lors de l'aimantation et que l'armature tend à maintenir.

Le compas indique à tout instant l'angle que fait la direction suivie par le navire avec le *MÉRIDIEN MAGNÉTIQUE* du lieu. La distance angulaire de ce méridien magnétique au méridien astronomique corres-

pondant étant indiquée par les instructions nautiques, on déduit immédiatement des indications du compas l'inclinaison de l'axe du bâtiment sur chaque méridien du globe, et, par suite, le tracé de la route sur la carte marine. Malheureusement dans l'application ce problème se trouve compliqué par l'aimantation propre du navire, qui dévie l'aiguille du compas de sa direction naturelle vers les pôles magnétiques de la terre.

M. le commandant Fournier explique que la déviation du compas peut être considérée comme résultant de trois déviations particulières et distinctes quand elle ne dépasse pas une vingtaine de degrés, savoir :

« 1^o Une déviation constante et indépendante du cap α ; cette déviation, qui est toujours très petite, se réduit généralement à l'erreur de la LIGNE DE ROI de l'instrument. Soit α cette déviation.

« 2^o Une déviation variable avec le cap, dite *semi-circulaire*, qui se calcule par la formule

$$\beta \sin \alpha + \gamma \cos \alpha,$$

dans laquelle β et γ sont des coefficients dépendant du magnétisme du bâtiment, de l'intensité magnétique horizontale τ et de l'inclinaison magnétique δ du globe.

« 3^o Une déviation variable aussi avec le cap, dite *quadrante*, et qui se calcule par la formule

$$\delta \sin 2\alpha + \epsilon \cos 2\alpha,$$

dans laquelle δ et ϵ sont des coefficients indépendants des quantités de magnétisme du navire et du globe, et ne représentent que des fonctions des coordonnées géométriques des pièces de fer doux du bâtiment.

« Si on désigne par D l'angle azimutal, appelé *DÉCLINAISON* magnétique, que forme le méridien magnétique avec le méridien vrai du globe, la formule suivante donne le cap vrai Z en fonction du cap erroné z , du compas :

$$Z = z + D + \alpha + \beta \sin z + \gamma \cos z + \delta \sin 2z + \epsilon \cos 2z.$$

« En représentant par R la résultante des forces déviatrices du navire et de la force directrice de la terre, appliquées sur les pièces du compas, on a la relation :

$$\frac{R}{\tau} = \cos d + \beta \cos z - \gamma \cos z + \delta \sin 2z - \epsilon \sin 2z;$$

τ est un coefficient constant et invariable peu différent de l'unité. Pour éviter les erreurs de route résultant des indications erronées données par le compas, on en calcule les déviations algébriquement ou géométriquement, ou encore on les supprime, en équilibrant sur les pôles du compas les forces perturbatrices qui les produisent par des forces magnétiques créées arbitrairement autour de lui, à l'aide d'*AIMANTS* supplémentaires et de pièces de *FER DOUX*, produisant des déviations égales et de sens contraires à celles du navire. Mais quand la correction des erreurs du compas a été faite dans un lieu donné, il faut la recommencer dans les autres lieux, puisque l'inclinaison et l'intensité horizontale magnétiques varient très notablement d'un lieu à un autre.

M. le commandant Fournier a imaginé un appareil appelé *ROMÉOSCOPE*, qui permet au navigateur de renouveler aisément et rapidement la régulation du compas. (Bulletin de la Société internationale des électriciens.)

Boussole d'inclinaison. — Si une aiguille aimantée peut se mouvoir librement autour de son centre de gravité, dans le plan du méridien magnétique, elle ne reste pas horizontale, comme cela arriverait pour une aiguille non aimantée; mais elle fait avec l'horizon un angle que les physiciens ont appelé **INCLINAISON**. Comme elle fait en réalité quatre angles avec l'horizon, on est convenu de prendre pour l'inclinaison le plus petit des deux angles formés par sa partie inférieure, celle qui, dans nos climats, contient le pôle austral.

Tout appareil propre à mesurer cet angle s'appelle **boussole d'inclinaison** (fig. 4). L'aiguille AB doit donc être parfaitement mobile autour d'un axe horizontal passant par son centre de gravité, condition que l'on réalise par une combinaison d'ajustements ingénieux dont nous supprimons les détails. Le limbe gradué, que parcourt les extrémités de l'aiguille, est aussi parfaitement vertical; il est enfoncé, avec un niveau à bulle d'air, dans une cage vitrée. A l'exté-

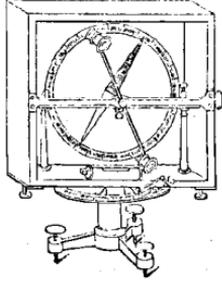


Fig. 4. — Boussole d'inclinaison.

rieur de la cage, on voit un levier dont les extrémités portent deux lunettes qui permettent de lire la graduation. Tout le système est mobile autour d'un axe vertical qui passe à la fois par le centre de gravité de l'aiguille et par le centre du limbe, car il est essentiel que ces deux points coïncident. Au-dessous de la cage, un cercle azimutal, muni d'un vernier, marque les angles décrits par le limbe vertical. Pour observer l'inclinaison avec cet instrument, on commence par placer le cercle vertical dans le méridien magnétique, ce qui peut s'obtenir de différentes manières, entre autres par la suivante : Si l'on fait tourner horizontalement le cercle vertical, on remarque que l'inclinaison de l'aiguille varie à chaque instant, et que, pour une certaine position, elle est même de 90°, c'est-à-dire qu'alors l'aiguille est tout à fait perpendiculaire. Or, à cet instant, le plan vertical de l'aiguille est perpendiculaire au plan méridien magnétique. Si donc, à partir de là, on fait décrire au cercle vertical un angle de 90°, on l'amène par ce mouvement dans le méridien magnétique. Cela fait, on note la division correspondant à la pointe inférieure de l'aiguille. Cette division donnerait la valeur de l'inclinaison, sans l'influence de deux causes possibles d'erreur qui ne permettent pas de s'en tenir à un premier résultat. Il peut arriver, en effet, que l'aimantation de l'aiguille soit irrégulière, et, en outre, que son centre de gravité ne se trouve pas exactement sur son axe de rotation. On doit donc chercher de nouveau l'inclinaison, après avoir retourné les faces de l'aiguille, sans en retourner les pôles. Après ces

deux résultats obtenus, on désaimante l'aiguille, et on la réaimante en sens opposé, c'est-à-dire en renversant ses pôles, et l'on recommence les deux observations précédentes, ce qui fait en tout quatre observations, dont la moyenne donne assez exactement la valeur que l'on cherche.

Cette valeur peut encore s'obtenir par le calcul. Désignons par i l'inclinaison que présente l'aiguille dans un plan vertical quelconque; par i'' son inclinaison dans un autre plan vertical perpendiculaire au premier. L'inclinaison vraie i est exprimée par la formule

$$\frac{1}{\tan i} = \frac{1}{\tan i'} + \frac{1}{\tan i''}$$

Boussole des intensités. — Cet appareil a été imaginé par Hausten pour compter les oscillations que l'on imprime à une aiguille de déclinaison suspendue à l'extrémité d'un fil de soie non tordu. Cette expérience a pour but de reconnaître l'intensité de la force magnétique terrestre dans un lieu donné; car cette intensité est d'autant plus forte que l'aiguille sur laquelle elle agit fait plus d'oscillations. (V. MAGNÉTISME.)

Boussole des variations. — C'est un appareil très délicat, construit par Gambey, pour observer les variations diurnes de l'aiguille de déclinaison. Nous avons parlé de ces variations, ainsi que de celles qu'on appelle annuelles, et de celles qui se font également sentir dans l'inclinaison, au mot **AIGUILLE**, lorsque nous avons décrit les phénomènes de l'aiguille aimantée.

Boussole des sinus. — Si un fil métallique, parcouru dans le sens de sa longueur par un courant électrique, est disposé parallèlement à une aiguille aimantée mobile sur un pivot vertical, l'aiguille s'écarte aussitôt de la direction du MÉRIDEN MAGNÉTIQUE, et d'autant plus que le courant est plus intense. Parmi les divers appareils propres à mesurer cet écart de l'aiguille, et, par suite, à comparer les intensités des courants (V. RHÉOMÈTRE), il en est deux, que l'on a appelés, le premier *Boussole des sinus*, le second *Boussole des tangentes*. Comme tous les rhéomètres, ils donnent seulement la déviation de l'aiguille aimantée, dont il reste ensuite à calculer soit le sinus, soit la tangente.

En effet, soient MM' (fig. 5) la direction du MÉ-

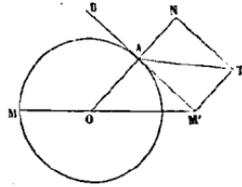


Fig. 5.

DIEN MAGNÉTIQUE, suivie d'abord par l'aiguille aimantée. Si l'on fait passer un courant électrique autour de l'aiguille, dans le plan vertical du méridien magnétique, l'aiguille, d'après ce que nous avons dit, dévie et prend une autre direction ON. Alors elle est en équilibre sous l'influence de deux forces, égales en intensité et opposées en direction. Ces deux forces sont : l'action magnétique de la terre t , quantité cons-

tante, dont la composante, qui tend à ramener l'aiguille au méridien, est représentée par la variable $AM' = f$; et l'action du courant i , qui agit suivant AB, perpendiculairement à l'aiguille. Les deux forces f et i sont égales quand l'aiguille s'arrête. Appelons d l'angle de la déviation. Dans le triangle rectangle AOM' , on a :

$$AM' = OM' \sin d,$$

ou

$$f = i \sin d;$$

et, par suite,

$$i = f \sin d.$$

Si le courant avait une intensité différente f' , l'aiguille aurait aussi une déviation différente d' , et il vaudrait $f' = i' \sin d'$; donc,

$$\frac{i}{f} = \frac{\sin d}{\sin d'}.$$

Ainsi, les intensités des courants sont proportionnelles aux sinus des déviations. C'est sur ce principe que M. Pouillet a construit l'appareil représenté fig. 6, et qu'il a appelé boussole des sinus. *a* et *b*

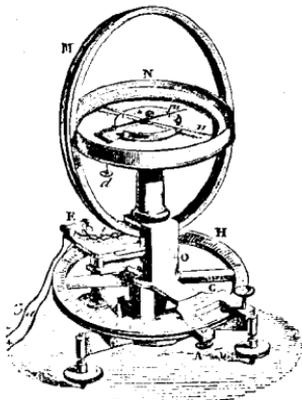


Fig. 6.

Boussole des sinus et des tangentes de Pouillet.

sont les extrémités d'un fil de cuivre, enveloppé de soie, qui fait un ou plusieurs tours sur le cercle vertical M. L'une des extrémités *a* est attachée au pôle positif d'une pile, et l'autre *b* au pôle négatif. L'aiguille aimantée *m* occupe tout à la fois le centre du cercle vertical et le centre du cercle horizontal N, dont le bord intérieur est garni d'un limbe gradué que la pointe de l'aiguille doit parcourir. Les deux cercles M et N peuvent tourner solidement, autour d'un axe vertical, de quantités angulaires mesurées par le vernier C qui parcourt les divisions d'un cercle horizontal fixe H. Les choses étant ainsi disposées, avant le passage du courant on amène le cercle M dans le méridien magnétique, de façon que ce cercle et l'aiguille se trouvent dans le même plan vertical; l'aiguille correspond alors au zéro du limbe. On établit le courant, l'aiguille s'écarte, et l'on fait tourner le cercle M de façon à ramener le zéro de-

BOUSSOLE — BOUTEILLE DE LEYDE

vant la pointe de l'aiguille. La quantité dont il a fallu faire tourner ce cercle, accusée par le vernier C, donne précisément l'angle que fait l'aiguille avec le méridien magnétique sous l'influence du courant. C'est de cet angle qu'il faut prendre le sinus.

Boussole des tangentes. — En diminuant la longueur de l'aiguille *m* et en modifiant la forme du circuit que le courant doit parcourir, M. Pouillet est parvenu à construire une boussole dans laquelle l'intensité du courant est proportionnelle à la tangente de la déviation. Le principe mathématique se démontre aisément en suivant une marche analogue à celle qui nous a guidé pour le principe de la boussole des sinus. L'appareil primitif se composait d'un cercle vertical formé par un ruban de cuivre dont les extrémités plongeaient chacune dans un godet contenant du mercure (fig. 7). Dans ce mercure on introduisait les deux pôles d'une pile; un courant passait dans le cercle et agissait sur une aiguille aimantée, suspendue par un fil de soie dans

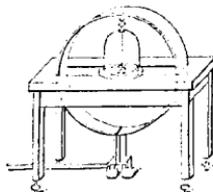


Fig. 7. — Boussole des tangentes. (Modèle primitif.)

l'intérieur d'une cloche de verre, de telle façon que son centre fût au centre du cercle vertical. Un limbe horizontal manifestait les déviations. Il faut que l'aiguille soit très petite par rapport au rayon du cercle vertical; cependant, il faut qu'elle soit assez longue pour qu'on puisse apprécier les subdivisions du degré. On remplit ces conditions en fixant l'aiguille aimantée, qui est très petite, bien perpendiculairement sur une longue aiguille de cuivre très légère, dont les extrémités se déplacent devant les divisions du limbe gradué. La manipulation de la boussole des tangentes est sujette à beaucoup plus d'erreurs que celle de la boussole des sinus. Le modèle actuellement employé à la même disposition que la boussole des sinus (fig. 6), avec cette seule différence que l'aiguille aimantée est beaucoup plus petite, ainsi qu'il a été dit plus haut.

Boussole de proportion de Carpentier. — Cet instrument, destiné à mesurer des résistances, se compose de deux bobines disposées à angle droit, contenant un même nombre de tours de fil de même diamètre. Au centre se trouve une petite aiguille surmontée d'un miroir et suspendue par un fil de coco. Ces deux bobines sont montées en dérivation sur une même pile; en intercalant dans le circuit de l'une d'elles une résistance fixe connue et dans l'autre la résistance à mesurer, on peut déterminer directement cette dernière. (V. MESURES ÉLECTRIQUES : MESURE DES RÉISTANCES.)

BOUTEILLE DE LEYDE. — En 1746, trois savants hollandais de Leyde, Musschenbroek, Allaman et Guinus, se livrèrent à des expériences d'électricité sur diverses substances. Ayant remarqué que le fluide électrique abandonne rapidement un simple conduc-

TEUR isolé, ils cherchèrent s'il ne serait pas possible de recueillir ce fluide et de le conserver sur un conducteur enfermé dans un vase isolant. L'eau fut d'abord essayée, et une bouteille fut remplie de ce liquide, dans lequel plongeait une tige métallique dont était traversé le bouchon de la bouteille. Cette tige, en forme de crochet à son extrémité supérieure, fut suspendue au conducteur d'une MACHINE ÉLECTRIQUE de manière à amener le fluide dans l'eau. Après avoir séparé la bouteille du conducteur, un des expérimentateurs, Musschenbroek, dit-on, en approchant l'une de ses mains de la tige, reçut dans les bras et la poitrine une violente commotion. Cette découverte produisit une sensation générale, et tandis que Musschenbroek se refusait à recommencer l'expérience, à cause du terrible souvenir qu'il en avait



Fig. 1.

conservé, de toutes parts on s'empressait de la répéter. Bientôt il n'y eut personne qui ne voulût se faire électriser; c'était l'expression dont on se servait alors et qui s'est perpétuée jusqu'à nos jours. Cette découverte fut bientôt exploitée par des industriels qui, pour gagner de l'argent, étalèrent des machines électriques sur les places publiques. Smeaton, en Angleterre, reconnaissant que la bouteille étant recouverte extérieurement d'une feuille d'étain donnait des commotions beaucoup plus fortes, et peu de temps après, l'abbé Nollet imagina de remplacer l'eau par des feuilles de clinquant. Dès lors fut construite la bouteille de Leyde telle que nous l'employons encore aujourd'hui. Elle se compose d'un flacon de verre mince, revêtu extérieurement d'une feuille d'étain, qui s'étend jusqu'à la partie inférieure, mais qui s'arrête à une grande distance du goulot (Fig. 1). Une tige métallique, recourbée supérieurement et terminée par un bouton, s'engage dans le bouchon de liège qui ferme la bouteille dont l'intérieur est rempli de feuilles de clinquant. Il est une autre forme de bouteille de Leyde très fréquemment employée; celle-ci, revêtue de feuilles métalliques à l'intérieur comme à l'extérieur, est formée d'un bocal de verre à large goulot; ce qui lui a fait donner le nom de jarre. La tige dont est traversé son bouchon se termine inférieurement par plusieurs fils de laiton qui, par leur élasticité, vont s'appuyer contre les parois intérieures.

Franklin a démontré que la bouteille de Leyde est un véritable CONDENSATEUR, dont l'ARMATURE extérieure, c'est-à-dire la feuille d'étain, représente l'un des disques, tandis que l'armature intérieure, soit les feuilles de clinquant, représente l'autre.

Pour charger la bouteille de Leyde, on la saisit à la main par l'une de ses armatures, l'autre étant mise en communication avec le conducteur de la machine électrique. La première se charge alors de FLUIDE NÉGATIF, et la deuxième de FLUIDE POSITIF; ainsi, lorsque le bouton est mis en communication avec la machine, le fluide positif s'accumule sur les feuilles de clinquant et le négatif sur les feuilles d'étain, tandis que le contraire a lieu si, tenant la bouteille par le crochet, on présente au conducteur l'armature extérieure.

La bouteille de Leyde se décharge, soit lentement, soit instantanément, comme le condensateur. La dé-

charge lente se fait en isolant la bouteille de Leyde et en touchant ainsi alternativement, avec la main ou avec un conducteur, chacune des armatures. A chaque contact, il se produit une ÉTINCELLE. Pour rendre plus sensible la décharge lente, on adapte à la tige de la bouteille un petit timbre. Une seconde tige métallique en communication avec l'armature extérieure, et également munie d'un timbre, porte un petit pendule formé d'une boule de cuivre suspendue à un fil de soie. Ce pendule, attiré d'abord par le premier timbre, est aussitôt après repoussé et attiré par le second timbre; revenu alors à l'état NEUTRE, il est de nouveau attiré par le premier timbre, et ainsi s'établit un mouvement oscillatoire qui décharge lentement l'appareil et qui peut durer plusieurs heures.

La décharge instantanée se fait avec l'EXCITATEUR. On place la bouteille sur un corps isolant, et l'une des boules étant mise en communication avec l'armature extérieure, on approche l'autre boule de la tige métallique; une forte étincelle annonce la recombinaison des deux électricités. Une seule étincelle suffit rarement pour opérer complètement la décharge. Cela tient à ce que les fluides électriques quittent les deux armatures et se portent sur les deux faces du verre à travers lequel ils s'attirent; on démontre ce phénomène au moyen d'une bouteille à armature mobile. Cette bouteille est formée d'un cylindre en fer-blanc qui constitue l'armature extérieure. Ce cylindre contient exactement un vase de verre dans lequel s'emboîte un autre vase métallique terminé par un crochet. Cet appareil étant chargé (ce qui se fait comme pour la bouteille ordinaire), on l'isole sur un gâteau de résine, on le démonte et on sépare les trois pièces qui le constituent. Il est dès lors facile de constater que les deux armures ne contiennent qu'une faible quantité d'électricité, tandis que si l'on replaçait les trois parties de l'appareil dans leur état primitif, on obtient une très forte décharge.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, la bouteille de Leyde n'est autre chose qu'un condensateur formé par deux cylindres concentriques. Nous allons en déterminer la CAPACITÉ.

Pour simplifier les calculs, nous supposons que la longueur des cylindres est très grande par rapport à leur diamètre. Dans ce cas, la distribution de l'électricité doit être considérée comme uniforme et la densité comme partout la même.

Soit Q la charge électrique du cylindre intérieur correspondant à une longueur l ; à cette charge correspond sur le cylindre extérieur une charge égale et de signe contraire — Q . Considérons deux plans parallèles infiniment voisins, et soit dx leur distance. Ils découperont sur les cylindres deux anneaux qui auront une charge égale à

$$q \frac{dx}{l}$$

Le POTENTIEL v dû à ces deux anneaux en un point O de l'axe est (Fig. 2) :

$$dv = \frac{Q dx}{l \times OB} - \frac{Q dx}{l \times OD}$$

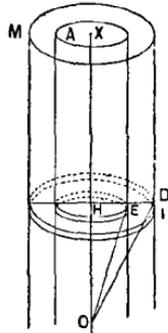


Fig. 2.

Si nous désignons par R le rayon du cylindre extérieur, par r celui du cylindre intérieur et par x la distance OH , nous aurons :

$$dV = \frac{Q}{l} \left(\frac{dx}{\sqrt{r^2 + x^2}} - \frac{dx}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right)$$

d'où l'on tire

$$V = \frac{Q}{l} \left[\log. \text{nép.} \left(\frac{x + \sqrt{r^2 + x^2}}{r} \right) - \log. \text{nép.} \left(\frac{x + \sqrt{R^2 + x^2}}{R} \right) \right]$$

$$V = \frac{Q}{l} \log. \text{nép.} \left(\frac{x + \sqrt{r^2 + x^2}}{x + \sqrt{R^2 + x^2}} \times \frac{R}{r} \right)$$

Si l'on considère un cylindre indéfini, il faudra donner successivement à x les valeurs $+\infty$ et $-\infty$, on aura ainsi :

$$V = \frac{2Q}{l} \log. \text{nép.} \frac{R}{r}$$

d'où

$$Q = \frac{Vl}{2 \log. \text{nép.} \frac{R}{r}}$$

La capacité électro-statique S du cylindre correspondant à la longueur l sera

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{l}{2 \log. \text{nép.} \frac{R}{r}}$$

La densité δ de l'électricité est égale sur le cylindre intérieur à

$$\delta = \frac{Q}{2\pi r l} = \frac{V}{4\pi r \log. \text{nép.} \frac{R}{r}}$$

sur le cylindre extérieur à

$$\delta' = \frac{Q}{2\pi R l} = \frac{V}{4\pi R \log. \text{nép.} \frac{R}{r}}$$

Posons maintenant $R - r = d$. Il viendra :

$$Q = \frac{Vl}{2 \log. \text{nép.} \left(1 + \frac{d}{r} \right)}$$

Si d est très petit par rapport à r , ce qui est le cas général, on pourra remplacer sans erreur sensible $\log. \text{nép.} \left(1 + \frac{d}{r} \right)$ par $\frac{d}{r}$, d'où l'on tire :

$$Q = \frac{rV}{2d}$$

Soit A la surface du cylindre intérieur, $A = 2\pi r l$ d'où

$$Q = \frac{AV}{4\pi d}$$

La capacité électro-statique S correspondant à la surface A sera :

$$S = \frac{A}{4\pi d}$$

et enfin la densité δ sera donnée par la formule

$$\delta = \frac{Q}{A} = \frac{V}{4\pi d}$$

Ces formules peuvent être pratiquement appliquées aux bouteilles de Leyde, quoique nous ayons supposé nos cylindres indéfinis.

BOUTON-TÉLÉPHONE. — Appareil employé pour la téléphonie domestique. (V. TÉLÉPHONE.)

Bréguet (Abraham-Louis), célèbre horloger mécanicien, né à Neuchâtel (Suisse) en 1747, d'une famille française réfugiée depuis la révocation de l'édit de Nantes, mort à Paris en 1823. Il eut peu de succès dans ses études classiques, et son enfance ne laissa pas pressentir la supériorité de son intelligence. L'art même qu'il devait porter à un si haut point de perfection n'excita d'abord en lui qu'une répugnance extrême. Ce fut à l'âge de quinze ans seulement que, placé chez un horloger de Versailles, il manifesta une application, une habileté et des talents qui étonnèrent sa famille et ses maîtres. Dès 1780, il avait fondé cet établissement célèbre qui a placé l'horlogerie française au premier rang, et il avait marqué ses premiers pas par des perfectionnements inespérés dans les montres perpétuelles, qui se remontent d'elles-mêmes par le mouvement de la marche. Pendant les orages de la Révolution, il s'exatria et mit à profit son exil en se livrant à des recherches et à des études sur son art. Il revint à Paris au bout de deux ans, fut nommé successivement horloger de la marine, membre du Bureau des longitudes, membre de l'Académie des Sciences, et acheva paisiblement sa laborieuse carrière, entièrement livré aux admirables travaux qui ont immortalisé son nom. Ce grand artiste, dont la simplicité et la modestie égalaient le mérite, ne s'est pas borné à exercer son génie sur des produits uniquement destinés à la vie civile, il a enrichi la science de la mesure du temps appliquée à la navigation, à l'astronomie, à la physique, d'un grand nombre d'instruments précieux, échappements de toute nature, pendules astronomiques, horloges marines, chronomètres, mécanismes aussi utiles qu'ingénieux, etc. On lui doit en outre : les *ressorts-timbres*, pour les répétitions, utilisés en avant minuit, une répétition de poche en avance ou en retard, pour qu'elle soit, à ces deux moments précis, réglée sur la pendule et par le simple contact; le *compteur astronomique*, qui permet d'apprécier à la vue jusqu'aux centièmes de seconde; le *compteur militaire*, instrument sonnant pour régler le pas des troupes; un nouveau *thermomètre métallique*; les montres à *répétition au tact*; l'emploi des rubis pour les parties frottantes; le mécanisme élégant et solide des *télégraphes aériens* établis par Chappe, etc. Au moment de sa mort, il travaillait à un vaste ouvrage sur l'horlogerie.

Bréguet (Louis), physicien et horloger, petit-fils du précédent, né à Paris le 22 décembre 1864, mort dans cette ville le 27 octobre 1883. Il fut envoyé à Genève pour y faire son apprentissage d'horloger, et, lorsqu'il eut vingt ans, son père le chargea de diriger son atelier d'horlogerie de marine. En 1833, il joignit à cet établissement la construction d'instruments appliqués aux sciences physiques. Arago ayant eu besoin d'un appareil destiné à trancher expérimentalement la question entre les deux systèmes sur la propagation de la lumière, Louis Bréguet lui construisit un appareil qui donna 2.000 tours à la seconde, et plus tard, jusqu'à 9.000 tours. Ce fut également lui qui établit pour Foucault, qui s'occupait de mesurer la vitesse de propagation des ondes lumineuses, des appareils permettant d'apprécier un quarante-millième de seconde. Son premier travail dans le domaine de la théorie pure fut pour objet l'induction électrique; il le fit en collaboration avec

M. Masson, professeur au lycée Saint-Louis. Leur but était d'accumuler sans déperdition l'électricité statique ou de tension. Ils obtinrent tous les phénomènes lumineux que l'on ne produisait jusqu'alors qu'avec la machine à plateau de verre. Ils fixèrent les bases de la machine d'induction. Louis Bréguet appliqua à l'électricité dynamique toute sa fertilité ingénieuse des combinaisons mécaniques. En 1845, sur la demande du colonel Konstantinoff, de l'artillerie russe, il imagina et construisit le premier appareil à mesurer la vitesse d'un projectile en différents points de sa trajectoire; vingt-cinq ans plus tard, il imagina pour le service du génie un EXPLOSEUR destiné à enflammer à distance les amorces dites « d'induction ou de tension ». Cet appareil est connu sous le nom de COUR DE POINCE DE BRÉGUET. Lorsque la télégraphie électrique, théoriquement créée par Ampère et pratiquement réalisée par Wheatstone, fit son entrée dans le monde, Bréguet se jeta avec ardeur dans les applications de cette étonnante découverte. Désigné, en 1845, pour faire partie de la commission qui présidait à l'établissement de notre premier télégraphe électrique, entre Paris et Rouen, il en devint, à plusieurs égards, le membre le plus important. Il y appliqua le principe, découvert en 1838 par Steinheil, d'après lequel on peut supprimer le deuxième fil de communication et laisser la terre effectuer elle-même le retour du courant électrique. Le traité publié par Bréguet à cette occasion sur la télégraphie et les services rendus par lui dans la commission de Rouen lui valut, en 1845, la croix de chevalier de la Légion d'honneur. C'est à lui que sont dus, comme conception et exécution, le TÉLÉGRAPHE A LETTRES, le TÉLÉGRAPHE A CADRAN et le TÉLÉGRAPHE MOBILE, dont le second, particulièrement, a été adopté par les compagnies de chemins de fer. Les relations de Bréguet avec les administrations des chemins de fer lui ont fourni l'occasion de résoudre de nombreux problèmes intéressants la sécurité dans les mouvements des trains et dans la préservation des appareils de signaux. On peut citer, entre autres appareils imaginés par lui, le PARAFODRE, destiné à préserver les ELECTRO-ALIMENTS des télégraphes contre les ravages de la foudre dans les temps d'orage et les employés contre ses dangers. Une autre application de l'électricité, due aussi à Wheatstone, pour la transmission et la distribution de l'heure à distance, devint pour Bréguet un nouveau sujet de méditations et de succès éclatants. Après avoir installé un premier système à Lyon en 1856, pour faire marcher 72 cadrans par un courant, inversé à chaque minute, qu'envoyait une horloge centrale, il le perfectionna en 1857 en ne donnant au courant que le soin, moins précaire, de remettre périodiquement de véritables horloges à l'heure, une fois par jour à midi ou à minuit. Il ne s'agit plus alors de transmettre l'heure, mais seulement de la régulariser. En 1876, il se trouva, dans la même voie, aux prises avec le problème bien autrement ardu, posé par Le Verrier, de faire reproduire à la seconde près l'heure de la pendule-type de l'Observatoire national par 16 horloges appelées « centres horaires », réparties dans les divers quartiers de la capitale. Une synchronisation si absolue présentait de grandes difficultés, dans les conditions de certitude constante qu'exigeait son fonctionnement régulier et normal. L'idée fondamentale d'une solution pratique avait été donnée par Foucault et appliquée ingénieusement par M. Verité, de Beauvais. M. Wolf l'avait réalisée, de son côté, dans l'intérieur de l'Observatoire national. Bréguet, en l'exécutant à son tour, sur une bien plus large échelle, pour la ville de Paris, y acquit un titre de

plus à la reconnaissance des savants, des horlogers et du public. Tous ces travaux et services rendus à la science marquaient la place de Louis Bréguet dans l'Académie des Sciences. Arago, lors de la mort de Gambey, le pressa d'y présenter sa candidature pour y reprendre la place que son grand-père avait occupée. M. Combes, son concurrent, l'emporta de deux voix sur lui. Une occasion d'entrer dans la section des membres libres se présenta en 1873. M. Bréguet songea à s'y porter candidat, mais quand il sut que M. de Lesseps la désirait, il s'effaça aussitôt. Il fut élu dans cette section l'année suivante, 1874. Quatre ans après, en 1878, le gouvernement lui accorda la croix d'officier de la Légion d'honneur. (Extrait de la *Notice sur les travaux de Louis Bréguet*, par M. de Fouquières, — Académie des Sciences, séance du 5 juillet 1886.)

On doit encore à Louis Bréguet le SPHYGMOGRAPHIE avec cylindre enregistreur de M. Marey, le SCISSMOGRAPHIE de M. Bouquet de la Grye, le CHRONOGRAPHIE de M. Fleurbaey, et beaucoup d'autres instruments d'une incroyable délicatesse et d'une admirable précision. Ajoutons qu'il était membre du Bureau des longitudes depuis 1862 et qu'il faisait partie d'un grand nombre de sociétés savantes françaises et étrangères. Il a publié : *Traité de Télégraphie électrique* (1845); *Avenir de la Télégraphie électrique* (1849); *Manuel de Télégraphie électrique* (1851); *Notice sur les Appareils magnéto-électriques et sur leur application à l'explosion des torpilles et des mines en général* (1869, in-8°).

Bréguet (Antoine), physicien, fils du précédent, né à Paris le 26 janvier 1831, mort dans cette ville le 8 juillet 1882. En sortant de l'École polytechnique, où il avait été admis en 1872, il devint sous-directeur des ateliers créés par son père pour la construction d'appareils de précision. Il étudia alors à fond toutes les questions scientifiques et industrielles relatives à l'électricité, et ne tarda pas à se faire connaître comme inventeur et comme savant. Antoine Bréguet imagina notamment un ANÉMOMÈTRE ingénieux mû par l'électricité (1875), un TÉLÉMÈTRE à mercure (1878), et, dans une conférence faite à la Sorbonne en 1880, il exposa les résultats de ses recherches sur les LIGNES DE FORCE. En 1881, il fut nommé chef du service des installations de l'Exposition d'électricité et fut délégué par l'administration au Congrès des électriciens. Il n'avait que trente et un ans lorsqu'il mourut subitement d'une hémorragie pulmonaire. Outre de nombreux articles publiés depuis 1875 dans le « Bulletin de l'Association scientifique », dans les « Annales de chimie », dans la « Revue des Deux-Mondes », dans la « Revue scientifique », dont il avait pris la direction en 1880, avec M. Richet, on lui doit des *mémoires*, notamment sur *les téléphones à cellule*, sur *la machine Gramme*, dont il a donné la première théorie exacte et complète, etc.

BRIQUETTE-PILE. — Générateur d'électricité proposé en 1882 par M. Bard de La Rochelle, et composé d'un aggloméré de houille et de brai, et d'un noyau de fil de cuivre. La briquette porte sur l'une de ses faces des dépressions tapissées d'amianc et dans lesquelles on a coulé un mélange de cendres et d'azotate de potasse, en y inscrivant des fils de cuivre pour prendre le courant. Si on place cette briquette dans un foyer ardent, on obtient un courant continu pendant tout le temps de la combustion. Becquerel, en 1853, et Jablouchkoff, en 1877, ont produit aussi de l'électricité en oxydant le carbone en présence de l'azotate de potasse ou de soude.

BRONZAGE DU FER PAR L'ÉLECTRICITÉ. — On appelle, improprement du reste, *bronzage des métaux* l'opération qui consiste à les rendre inoxydables par l'air. M. de Méritens, dans une conférence faite à la Société internationale des électriciens, dans le courant de juillet 1886, a indiqué une méthode permettant de résoudre le problème par l'emploi du courant électrique.

Cette méthode consiste à recouvrir les objets en fer, fonte ou acier, à préserver de l'oxydation, d'une couche d'oxyde de fer magnétique Fe₃O₄.

On place lesdits objets dans un bain d'eau distillée porté à la température de 70° à 80° centigrades et on les relie au pôle positif d'une pile ou d'une machine dynamo-électrique. Le pôle négatif de cette pile ou de cette machine est mis en communication avec la cathode, qui peut être indifféremment une lame de fer ou de cuivre, ou une plaque de charbon.

Dans l'installation de M. de Méritens, c'est le vase en fer contenant le bain qui sert de cathode. Le courant doit avoir seulement la force électromotrice nécessaire et suffisante pour décomposer l'eau après avoir vaincu la résistance du circuit et du bain. Si le courant était trop énergique il produirait un oxyde pulvérulent et non adhérent; de plus, les pièces posées seraient piquées. Mais, si on opère dans les conditions ci-dessus indiquées, on peut facilement recouvrir les objets en acier d'une couche de magnétite très solide et résistant bien au frottement. Le fer doux, la fonte ordinaire et la fonte malléable placés dans les mêmes conditions se recouvriraient mal, l'enduit n'aurait pas la résistance voulue; il faut donc leur faire subir une préparation. On les fait traverser pendant quelque temps par le courant positif et on les place ensuite au pôle négatif jusqu'à réduction complète de l'oxyde déjà formé. Enfin on les replace au pôle positif et ils se recouvrent alors d'un enduit d'oxyde magnétique parfaitement adhérent.

BUREAU TÉLÉGRAPHIQUE. — On nomme ainsi le local où est installé le télégraphe, local où doivent se trouver :

La table ou les tables sur lesquelles sont montés les appareils de manipulation et de réception, et les appareils accessoires, tels que *SONNERIES, GALVANOMÈTRES, PARATONNERRES;*

La ou les PILES, enfermées dans des caisses ou des armoires qui empêchent les émanations de se répandre dans l'atmosphère;

Un guichet pour le public;

Une caisse ou des tiroirs à serrures de sûreté pour la conservation des fonds ou des formules de mandats, de récépissés, etc.

Une armoire pour les imprimés et les registres, qui sont nombreux;

Les documents nécessaires au public, qui doivent être tenus à jour, affiches, tarifs, dictionnaire des communes, etc.

En France, les bureaux sont permanents de jour et de nuit (en petit nombre), à service complet ou à service limité.

Les bureaux à service complet sont ouverts de 7 heures du matin en été, 8 heures en hiver, à 9 heures du soir.

Les bureaux à service limité sont généralement des bureaux *municipaux*, c'est-à-dire gérés par des agents des communes.

Dans les localités où le service des postes n'est pas installé, les bureaux municipaux sont ouverts : les jours ouvrables, de 9 heures du matin à midi, et de 2 heures à 7 heures du soir; les dimanches et jours

fériés, de 8 heures à 9 heures du matin, et de 1 heure à 2 heures du soir.

Dans les bureaux de poste auxquels a été adjoint le service télégraphique municipal, les heures d'ouverture pour les opérations télégraphiques sont identiques à celles du service postal qui, les jours ouvrables, sont en général fixées de 7 ou 8 heures du matin, suivant la saison, à midi, et de 2 à 7 heures du soir.

Dans toutes les localités où il existe un bureau de poste et un bureau télégraphique municipal, l'agent de la commune qui gère ce dernier bureau doit fournir des vacations identiques à celles du bureau de poste.

BUREAU TÉLÉPHONIQUE. — Local où sont installés des appareils téléphoniques. On doit y trouver :

Les appareils destinés à la correspondance vocale (MICROPHONES, TÉLÉPHONES);

Des COMMUTATEURS pour les relations à établir entre les divers abonnés;

Des PILES bien enfermées;

La liste des abonnés.

Presque partout, un bureau téléphonique public est en même temps bureau téléphonique.

BUREAU D'INTÉRÊT PRIVÉ. — On désigne ainsi un bureau spécial à un particulier ou à une administration qui ne dépend pas de l'État.

Toute demande faite en vue d'obtenir la concession d'une ligne télégraphique d'intérêt privé est émise sur formule spéciale que le Directeur-Ingénieur de la région met à la disposition du pétitionnaire. La demande, revêtue de la formalité du timbre de dimension, doit parvenir au Ministre des Postes et Télégraphes, par l'intermédiaire du préfet du département dans lequel la ligne doit être établie ou de l'un des départements que cette ligne doit traverser.

Les lignes d'intérêt privé sont divisées en deux catégories :

1° Celles qui rattachent un établissement privé au réseau télégraphique de l'État et sont destinées à la transmission des correspondances entre cet établissement et les divers points desservis par ce réseau;

2° Celles qui rattachent entre eux plusieurs points d'un même établissement privé ou plusieurs établissements privés appartenant soit à un même permissionnaire, soit à plusieurs permissionnaires cotitulés.

Les lignes de la première catégorie sont construites et entretenues par le service des Télégraphes de l'État, dont elles restent la propriété.

Pour les lignes de la seconde catégorie, le Ministre des Postes et Télégraphes, à qui appartient dans tous les cas l'exercice du droit d'autorisation, détermine celles qui doivent être construites et qui, entretenues par le service des Télégraphes de l'État, restent sa propriété, et celles qui peuvent être construites et entretenues par les permissionnaires eux-mêmes. Le Ministre fixe, pour les lignes qui restent la propriété de l'État, les proportions dans lesquelles les permissionnaires peuvent être tenus de participer aux frais de construction et d'entretien.

L'établissement de toutes les lignes d'intérêt privé reste subordonné aux autorisations locales ou particulières nécessaires pour la traversée des voies publiques ou des propriétés privées. Ces autorisations sont obtenues à la diligence du service des Télégraphes pour les lignes dont la construction lui est réservée, et par les soins des permissionnaires pour celles que ces derniers ont été autorisés à construire eux-mêmes.

Les indemnités ou loyers réclamés par les communes, les services publics ou les propriétaires intéressés, pour occupation temporaire, pour pose des appuis ou pour tous autres motifs, sont exclusivement à la charge des concessionnaires.

La part contributive aux frais d'entretien est acquise à l'État, dès le 1^{er} janvier, pour l'année entière. L'annuité d'entretien, pour les lignes établies dans le courant d'une année, n'est exigible qu'à partir du 1^{er} janvier de l'année suivante. Le montant de ces frais doit être versé au Trésor le 31 mars au plus tard.

Les permissionnaires des lignes d'intérêt privé, construites ou non par l'État, pouvoient eux-mêmes à l'acquisition et à l'entretien des appareils télégraphiques nécessaires au fonctionnement de leurs lignes.

Toutefois, le service des Télégraphes de l'État peut se charger de l'acquisition, de l'installation et de l'entretien des appareils nécessaires au fonctionnement des lignes télégraphiques d'intérêt privé qui ont pour objet un service municipal ou qui leur sont assimilées, comme celles des champs de tir, moyennant une contribution fixée par le Ministre. Les postes comportant des COMMUTATEURS à plusieurs directions, des ANNONCIATEURS, des AVERTISSEURS d'incendie ou d'autres appareils qui ne sont pas d'un usage courant, ne sont installés par l'administration que moyennant remboursement intégral de tous les frais, avec majoration de 5 % à titre de frais généraux. Dans ce cas, les frais d'entretien sont calculés à raison de 10 % du montant total des dépenses, matériel et main-d'œuvre.

Les dépêches échangées entre les établissements desservis par une ligne d'intérêt privé reliée au réseau de l'État et ce réseau, ou tout point au delà, restent soumises à la taxe intégrale, dans les conditions du tarif en vigueur.

L'usage de toute ligne télégraphique d'intérêt privé où la transmission des correspondances ne donne pas lieu à la perception de la taxe intégrale est soumis à un droit fixé par l'arrêté d'autorisation et calculé, par voie d'abonnement annuel, sur une base uniforme, à raison du nombre des points desservis et de la longueur kilométrique des fils en service. Ce droit est calculé par fraction indivisible de 200 mètres. Il ne peut toutefois être perçu, de ce chef, moins de 25 francs par an, pour les lignes d'intérêt privé ordinaires. Pour les CABLES téléphoniques à double fil, le droit d'usage est calculé sur la longueur du câble, abstraction faite du fil de retour.

Les fils de sonnerie et les fils destinés à relier par appareils de rappel les établissements particuliers aux réseaux municipaux d'incendie ne sont assujettis à d'autre minimum de perception qu'à un droit de 5 francs correspondant à une fraction indivisible de 200 mètres. Le droit d'usage pour les fils destinés à relier les établissements particuliers aux réseaux municipaux d'incendie ne peut dépasser la somme de 25 francs, quelle que soit la longueur du fil.

Tout réseau composé de plus de deux postes pouvant correspondre entre eux, ou indépendamment les uns des autres, mais appartenant à la même concession, est assujéti, en outre, à un droit pour chaque poste supplémentaire.

Le montant de l'abonnement pour droit d'usage est exigible à partir du jour où les lignes sont mises à la disposition du concessionnaire; il est acquis à l'État dès le 1^{er} janvier pour l'année entière et doit être versé au Trésor avant le 31 mars suivant. Pour la première année, il est calculé proportionnellement au temps écoulé avant le 31 décembre.

Sont exemptés de tous droits d'usage : les réseaux

d'intérêt privé qui ont pour objet un service municipal ou qui leur sont assimilés; les fils des sociétés de tir; les fils destinés à l'éclairage électrique ou à la transmission de la force motrice.

Les permissionnaires des lignes d'intérêt privé reliées au réseau général et rattachées à un bureau de l'État peuvent être autorisés : à communiquer directement entre eux pendant les heures ordinaires du service, moyennant le paiement, par chaque concession, d'un droit fixe élevé, calculé par trimestre indivisible et payable d'avance; à transmettre au bureau de l'État des dépêches à expédier par la poste en dehors du périmètre de distribution du bureau, moyennant le paiement, en sus de l'affranchissement postal, d'une taxe calculée à raison de 0 fr. 50 pour 100 mots ou fractions de 100 mots, jusqu'à 200 mots au maximum. Ces autorisations restent, en toutes circonstances, subordonnées aux besoins du service général. Elles peuvent, à toute époque, être suspendues ou retirées sans que l'administration soit tenue pour ce motif à aucune indemnité.

Les bureaux des lignes d'intérêt privé de toute catégorie sont desservis par les agents particuliers des permissionnaires, qui sont tenus de transmettre, lorsqu'ils en sont requis, la correspondance officielle avec priorité sur tous les autres TÉLÉGRAMMES, et d'en assurer la remise aux destinataires, sans aucune indemnité. L'administration conserve, d'ailleurs, la faculté d'introduire dans tous ces bureaux ses propres agents et ses propres appareils, si les besoins du service officiel venaient à l'exiger.

L'État se réserve d'exercer ses droits de contrôle sur toute ligne d'intérêt privé, quelle que soit sa destination. Les frais auxquels ce contrôle pourrait donner lieu sont remboursés par les permissionnaires. Si le service des Télégraphes juge utile, pour l'exercice de ce droit, d'introduire les fils d'intérêt privé dans un bureau télégraphique de l'État, les concessionnaires participent aux frais d'établissement et d'entretien des bâtiments, dans les mêmes proportions que ceux des lignes concédées; mais ces dérivations ne donnent pas lieu à la perception de l'abonnement pour droit d'usage. Les permissionnaires sont tenus, en outre, de pourvoir aux frais d'acquisition, d'installation et d'entretien des appareils nécessaires au contrôle lorsqu'ils se servent, sur leurs lignes, d'appareils qui ne sont pas en usage dans les bureaux où ce contrôle s'exerce, ou que les besoins du contrôle exigent l'emploi permanent d'un appareil spécial. Ils supportent également les frais d'achat, d'installation et d'entretien de tout appareil que l'administration jugerait utile de placer dans les bureaux ou sur les lignes pour combattre les effets d'induction sur les fils desservis par des TÉLÉPHONES.

L'installation de lignes et d'appareils téléphoniques dans une propriété close n'a besoin d'aucune autorisation ministérielle ou locale.

Mais si des téléphones doivent être reliés par une ligne sortant d'une propriété close, ou s'ils sont destinés à la correspondance entre plusieurs bâtiments divers dans une propriété non complètement close, l'emploi de ces appareils ne peut avoir lieu que sur des lignes spéciales et en vertu d'une autorisation ministérielle particulière. Leur introduction dans les bureaux de l'État est également soumise à des conditions particulières.

La demande, formulée sur papier à lettre ordinaire, indique les nom et prénoms des pétitionnaires, local, domicile, les points à relier et la distance qui les sépare; elle doit dire si les pétitionnaires désirent construire eux-mêmes et à leurs frais la ligne demandée, ce que l'administration est en droit de refuser. La de-

mande doit être adressée à M. l'Ingénieur-Directeur des Postes et Télégraphes du département.

Quand les lignes extérieures sont construites par l'administration des Télégraphes, elles restent la propriété de l'État, à qui le concessionnaire a à payer, à titre de part contributive pour la construction :

Par kilomètre de ligne aérienne spéciale à un fil, 250 francs ;

Par kilomètre de ligne aérienne spéciale à deux fils, 375 francs ;

Par kilomètre de ligne souterraine en égouts, 980 francs ;

Par kilomètre de ligne souterraine en tranchée, à fixer.

L'installation en ligne souterraine, dans Paris, de communications téléphoniques d'intérêt privé, ne peut avoir lieu que par les soins du service des Télégraphes ; elle est effectuée au moyen de câbles à double fil.

Pour toute ligne ou tout réseau sortant d'une propriété close ou établi pour réunir plusieurs bâtiments faisant partie d'une propriété ouverte, il est dû à l'État

un droit d'usage de 25 francs par kilomètre de fil et de 25 francs par poste au-dessus de deux.

Sur la ligne où le réseau a été construit par l'État, l'entretien en est fait par lui à raison de :

26 francs par kilomètre de ligne aérienne spéciale ;

12 francs par kilomètre de fil sur poteaux supportant d'autres fils ;

60 francs par kilomètre de ligne souterraine en égouts ou en tranchées.

Les concessionnaires peuvent, à toute époque, renoncer à l'usage des fils concédés ; l'abonnement pour droit d'usage et l'annuité d'entretien restent acquis à l'État jusqu'à la fin de l'année courante. Il n'est fait aucun remboursement des sommes versées à titre de participation aux frais de premier établissement.

L'État ne peut encourir aucune responsabilité du fait des interruptions accidentelles des communications, même pour les fils dont l'entretien est réservé au service des Télégraphes. Il peut, à toute époque, suspendre ou retirer le droit d'usage des fils concédés, sans être tenu, pour ce motif, ni à indemnité, ni à remboursement.

CABLE. — Nom donné à tout CONDUCTEUR composé d'une AME métallique entourée d'une matière isolante appelée DIÉLECTRIQUE. — On distingue deux genres de câbles : ceux destinés aux lignes souterraines et ceux destinés aux lignes sous-marines.

1. Câbles destinés aux lignes souterraines. — Ils peuvent se diviser en trois classes : ceux pour la TÉLÉGRAPHIE ; ceux pour la TÉLÉPHONIE, qui ne diffèrent généralement des premiers que par leur moindre grosseur et la moindre épaisseur de leur couche isolante ; ceux pour la LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

1^o Câbles pour lignes télégraphiques et téléphoniques. — Voici le mode de construction des câbles le plus habituellement employés pour les transmissions télégraphiques souterraines en Allemagne et en France, qui sont les premières nations ayant adopté ce genre de lignes télégraphiques.

(En Amérique la question du remplacement des réseaux aériens, dans les villes, par des réseaux souterrains, est à l'étude, car l'embourbement qui résulte de la multiplicité des lignes aériennes rend la circulation fort difficile dans les grandes villes.) (V. TÉLÉPHONIE.)

(a) *Allemagne.* — Câble de 4 à 7 conducteurs de cuivre isolés et noyés dans la gutta ; couche de chanvre de Russie goudronnée, revêtement de fil de fer GALVANISÉ comme protection mécanique, et enfin couche d'asphalte comme protection contre l'humidité.

(b) *France.* — Câble à 7 conducteurs, chaque conducteur étant un toron de 7 fils de cuivre recouvert de deux conches de gutta-percha avec interposition de composition CHATTERTON. L'âme ainsi constituée est recouverte d'un goupillage de coton goudronné, puis sept âmes semblables sont câblées et recouvertes de trois enveloppes : un ruban de coton, une couche de phormium, un ruban de coton goudronné. Les câbles destinés à être placés en terre sont simplement goudronnés et enfermés dans des tuyaux en fonte dont les joints sont matés au plomb ; ceux qui doivent être posés dans des tunnels ou dans des égouts sont protégés par des tuyaux de plomb qui doivent avoir au moins 50 mètres de longueur sans soudure.

Nous signalerons aussi :

Les *câbles Brooks*, qui servent pour la télégraphie et plus spécialement pour la téléphonie. Ils sont formés de conducteurs de cuivre enveloppés et maintenus séparés par une couche de jute purgée de toute humidité ; on introduit ces conducteurs dans des tubes de fer reliés entre eux et remplis d'huile de pétrole. Un tube de 4 centimètres de diamètre intérieur permet de placer jusqu'à 50 fils télégraphiques ou téléphoniques. L'isolement de ce genre de câble est un peu inférieur à celui des câbles ordinaires.

Les *câbles Berthoud et Borel*, qui se composent d'un conducteur de cuivre recouvert d'un goupillage de coton passé dans un mélange de résine et de paraf-

fine. Plusieurs fils réunis sont renfermés dans une gaine de plomb, plongée elle-même dans du brai gras et recouverte d'une deuxième couche de plomb.

Nous donnons, *fig. 1 à 16*, les vues en coupe de plusieurs sortes de câbles pour lignes télégraphiques et téléphoniques, pour sonneries, etc.

Les *fig. 1 et 2* représentent des câbles sous plomb pour installation de sonneries. Le premier a un seul conducteur, le second en a 7 ; ces conducteurs ont 0^m,001 de diamètre. Le diamètre du diélectrique est de 0^m,0027, et l'enveloppe protectrice de plomb a une épaisseur de 9^m,001. Les poids par kilomètre sont respectivement de 200 et de 500 kilogrammes.

La *fig. 3* représente un câble téléphonique armé contenant des conducteurs à 3 brins de 0^m,0005 de diamètre et goupillés de couleurs différentes. Le diamètre du diélectrique est de 0^m,0025 ; l'armature est composée de 20 fils de fer de 0^m,0025 de diamètre. Le poids de ce câble par kilomètre est de 1.250 kilogrammes.

La *fig. 4* donne la coupe transversale d'un câble souterrain isolé à la gutta-percha, contenant 7 conducteurs formés de 7 brins de 0^m,0006, de diamètre. Le diélectrique a un diamètre de 0^m,005.

L'armature se compose de 18 fils de fer galvanisés de 0^m,004 de diamètre. Le poids de ce câble est de 2.420 kilogrammes par kilomètre ; l'armature est recouverte d'une composition asphaltique.

Les *fig. 5 à 16* représentent plusieurs variétés de câbles pour lignes souterraines, ainsi que les dispositions à prendre pour l'établissement des dérivations ou des branchements. La *fig. 17* donne la vue d'une pose de câble souterrain ; le câble est enroulé, comme on le voit, sur une bobine de grandes dimensions mobile autour d'un axe monté sur roues.



Fig. 1 et 2.

Câbles sous plomb, pour installation de sonneries. (*Nattier.*)



Fig. 3.

Câble téléphonique, armé avec composition asphaltique. (*Nattier.*)

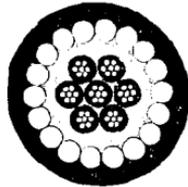


Fig. 4.

Câble souterrain isolé à la gutta-percha, avec armature asphaltique. (*Nattier.*)

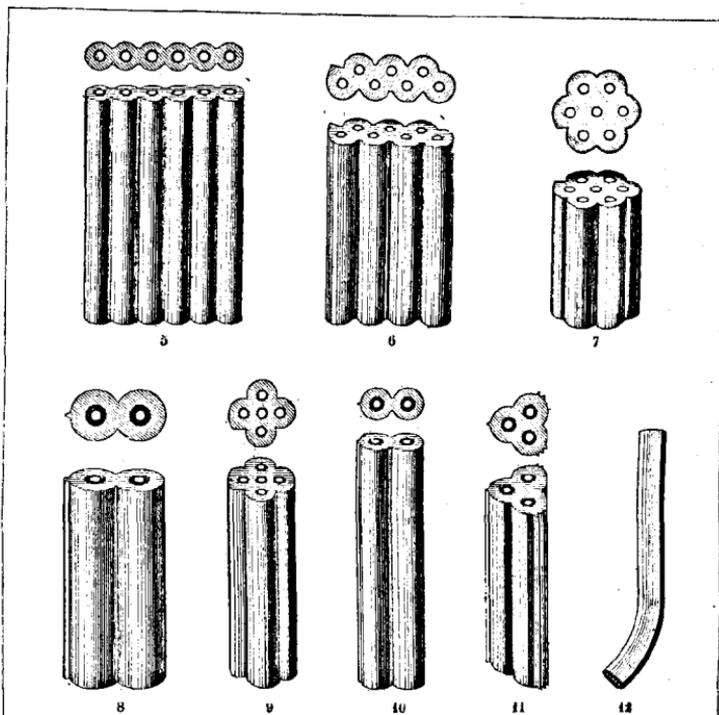


Fig. 5 à 12. — Vues en élévation et en coupe transversale de plusieurs espèces de câbles sous plomb.

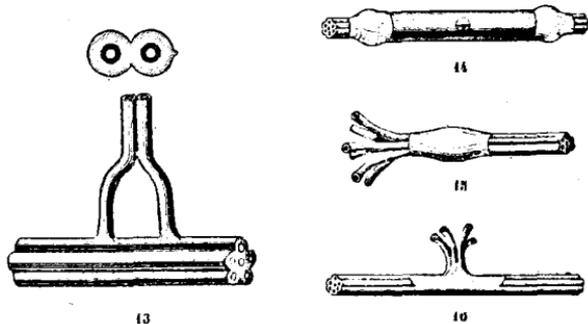


Fig. 13 à 16. — Méthodes employées pour prendre des branchements et pour opérer la jonction des câbles.

Le transport du câble et son déroulement dans la tranchée s'exécutent ainsi avec la plus grande facilité.

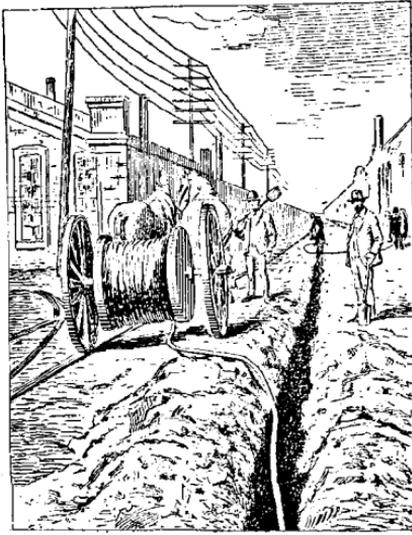


Fig. 17. — Pose d'un câble dans une tranchée.

Les câbles Fortin-Hermann. — M. Fortin-Hermann a proposé le moyen suivant pour placer les li-

gnes souterraines dans les mêmes conditions que les lignes aériennes, c'est-à-dire pour se servir de l'air diélectrique. Chaque conducteur est enfilé dans de petits cylindres de bois se touchant tous et formant chapelet (fig. 18); ainsi préparés, les conducteurs sont introduits, à leur tour, dans un tuyau ou enveloppe en plomb et constitue un véritable câble.

Les câbles pour lignes volantes, dont se sert la TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE pour l'installation des lignes provisoires. La description de ces câbles est donnée à l'article TÉLÉGRAPHIE.

3^e Câbles pour lumière électrique. — On en distingue deux sortes :

(a) Les câbles formés d'une série de conducteurs non isolés entre eux et recouverts d'un double guipage en coton ou en chanvre goudronné ou caoutchouté.

(b) Les câbles sous plomb, qui se composent d'une série de conducteurs non isolés entre eux entourés d'une couche d'amiante (substance inc combustible), puis d'un guipage double ou triple de coton ou chanvre goudronné ou caoutchouté et enfin d'une gaine de plomb (fig. 19 et 20).

Les câbles Berthoud et Borel, décrits ci-dessus, peuvent être employés pour la lumière électrique; dans ce cas leurs dimensions sont calculées en conséquence. (V. CANALISATION ÉLECTRIQUE.)

II. Câbles destinés aux lignes sous-marines. — Ces câbles sont analogues aux précédents; ils sont seulement construits plus solidement; on donne une plus grande épaisseur aux couches isolantes; et on les protège par une armature extérieure

de fils de fer ou d'acier d'une grande résistance à la rupture et à l'usure.



Fig. 18. — Câble Fortin-Hermann.

Voici d'abord quelques renseignements intéressants sur l'histoire de la construction des premières lignes sous-marines :

Le premier qui eut l'idée d'appliquer l'électricité à la transmission des messages à travers l'eau fut M. Walker Breit, avec son frère Jacob Breit, d'expériences électriques, plus spécialement en ce qui concernait la télégraphie. Après des recherches infructueuses, tentées avec le chanvre et le goudron, pour amener l'isolation dans l'eau, M. Breit songea à se servir de la gutta-percha, dont l'introduction en Angleterre était toute nouvelle. Il voulut obtenir pour sa découverte l'appui et la sanction du célèbre ingénieur Stephenson; mais celui-ci se moqua de lui et le renvoya assez dédaigneusement, en lui donnant l'assurance qu'il n'obtiendrait jamais un résultat sérieux. La confiance de Breit ne fut pas ébranlée par cet échec; il travailla à fabriquer un câble télégraphique et à le faire passer dans le canal de la Manche; mais l'argent nécessaire pour mener à bien une pareille entreprise lui manqua, et ce fut alors qu'il se rappela le nom de quelques amis qui avaient eu des relations avec le prince Louis-Napoléon pendant son séjour à Londres. A l'aide d'une lettre de recommandation, Breit obtint une audience du chef du gouver-

nement français, qui écouta avec intérêt les explications de l'inventeur, examina avec soin les échantil-

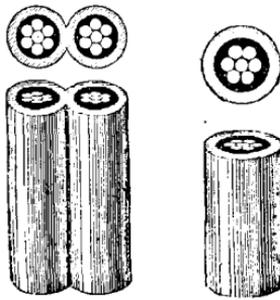


Fig. 19 et 20. — Vues en élévation et en coupe transversale de câbles sous plomb pour lumière électrique.

lons du câble sous-marin, encore bien imparfait, qui lui était présenté, et lui promit son aide pour la pose

d'un câble télégraphique entre Douvres et Calais. Breit revint à Londres et confectionna le premier câble sous-marin qui traversa le canal de la Manche.

C'est un bateau français qui a eu l'honneur de faire cette première entreprise, qui réussit complètement. Il est bon de noter ce fait, car, parmi les questions scientifiques qui ont eu le privilège d'intéresser et même de passionner le public, il n'en est pas qui ait plus vivement surexcité l'attention que celle des câbles électriques sous-marins; les accidents qui accompagnèrent par deux fois, en 1838 et 1865, la pose du câble transatlantique, et le succès d'une troisième tentative, où tant d'intérêts matériels et moraux se trouvaient engagés, ont augmenté encore l'intérêt qui s'attache à l'idée générale des communications sous-marines. M. Wheatstone avait, dès 1811, proposé un système qui différait peu de celui que Breit mit en usage: c'étaient cinq fils de cuivre qui formaient l'âme du câble; le tout était protégé extérieurement par une torsade faite avec des fils de fer galvanisés. Ce fut, nous l'avons dit, au moyen de la gutta-percha que Breit rendit ce système possible, et, après la pose de son câble, en 1851, il songea immédiatement à réunir la France à l'Algérie et l'Angleterre à l'Amérique, et se mit bravement à l'œuvre. Par ses soins fut formée la Compagnie du télégraphe sous-marin de la Méditerranée pour la réunion de la France à l'Algérie par la Spezzia, la Corse, le détroit de Bonifacio, la Sardaigne, les côtes de l'Afrique. Cette même ligne devait traverser l'Égypte et arriver jusque dans les Indes. Il forma aussi avec un citoyen de New-York, M. Field, la Compagnie du câble transatlantique. La première moitié du câble algérien, celle qui réunissait la Spezzia, la Corse et la Sardaigne, réussit parfaitement; mais il n'en fut pas de même de la seconde section entre la Sardaigne et Oran. Trois fois le câble se brisa dans le gouffre conique qui règne entre les îles de la Méditerranée et la côte africaine.

Néanmoins le premier essai avait été heureux, la ligne de Douvres à Calais fut inaugurée le 13 novembre 1851; le câble électrique parcourait une distance de 25 milles. On pouvait croire le problème résolu.

Deux autres lignes sous-marines, de Douvres à Ostende et d'Oxford à Scheveningen (Hollande), furent établies avec non moins de succès en 1853. Les Anglais reprirent alors le projet grandiose de relier l'ancien monde au nouveau au moyen d'un câble transatlantique.

Une Compagnie se forma; les plus habiles ingénieurs furent appelés, et l'on confia à la maison Glass et Elliot la construction du câble gigantesque qui, partant de la baie de Valencia en Irlande, devait aboutir à Trinity-Bay, sur la côte de Terre-Neuve. C'était une distance de 3.650 kilomètres qu'il s'agissait de franchir; mais là n'était pas la principale difficulté.

Jusqu'alors on n'avait effectué d'immersions qu'à de petites profondeurs; les câbles, déroulés au moyen de freins placés à l'arrière des steamers ordinaires, arrivaient sur un sol presque uni et s'y reposaient sans avoir subi de fortes pressions. Dans l'Océan, on allait avoir à compléter avec un sol aussi accidenté que le sol terrestre; les beaux travaux orographiques du lieutenant Maury avaient fait connaître la configuration bizarre de quelques parties de l'Atlantique. On savait que l'eau qui entoure les Açores et les Bermudes atteint une profondeur de 7.000 mètres, et que, même sur le sol favorisé qui s'étend de l'Irlande à Terre-Neuve, déjà baptisé du nom de « plateau télégra-

phique », des fonds de 3.000 et de 4.500 mètres succèdent brusquement à des fonds de 500 mètres. Ce n'est pas que le danger soit plus grand en mer profonde qu'en basse mer, le contraire est plutôt vrai; le tout est d'y arriver sans encombre. D'abord, on n'a rien à craindre des courants, ils n'atteignent pas les grandes profondeurs. Le Gulf-Stream lui-même, ce grand fleuve d'eau chaude qui descend du golfe du Mexique et se précipite au pôle boréal avec une vitesse de 4 milles à l'heure, n'étend pas son action au-dessous de 200 à 300 brasses.

Plus bas, les eaux sont froides et immobiles; en second lieu, le fond est revêtu d'une couche de boue visqueuse qu'on a appelée « vase », et les froitements n'y sont pas à redouter, point bien important à examiner quand il s'agit de fixer sur ce fond un objet dont le froitement amène forcément l'usure, et l'usure la rupture.

L'une des grandes difficultés qu'offre l'emploi des longs câbles, c'est leur poids, qui rend l'opération de la pose extrêmement délicate, surtout quand elle a lieu dans des profondeurs considérables; les câbles sont alors soumis à des pressions énormes (400 atmosphères pour 4.000 mètres, c'est-à-dire chaque millimètre carré supportant un poids de 4 kilogrammes), qui déterminent trop souvent leur rupture; cependant la tension qui s'exerce à ce moment même sur le frein nécessite une armature puissante. On s'éleva de vaincre cet inconvénient: un fil de cuivre d'un fort diamètre, formant l'âme du câble, fut entouré d'abord de plusieurs couches de gutta-percha, puis recouvert d'une enveloppe de chanvre, empâté avec une composition isolante faite de goudron et de silice, et enfin protégé extérieurement par un revêtement de fils de fer tordus en spirale.

En 1857, la Compagnie anglaise fit charger environ 2.500 milles de câble sur l'*Agamemnon* et sur le *Niagara*: une rupture arrêta l'expédition à son début, à une distance de 380 milles de Valencia le câble fut brisé; mais on fut assez heureux pour le relever, et, le 5 août 1858, date mémorable, la communication était établie entre les deux mondes. Non seulement le câble était posé, mais il fonctionnait.

Le premier message fut transmis de Terre-Neuve le 12 août 1858. Les signaux arrivaient nets, quoique lents. On expliquait cette lenteur par la théorie « que le courant se condense dans les fils souterrains et sous-marins, et subit un retard proportionnel au carré de la distance », et aussi par l'imperfection des appareils. Le 16, à dix heures cinquante minutes du matin, commença la transmission d'un message de la reine au président des États-Unis Buchanan; elle ne fut terminée que le 17, à quatre heures trente minutes du matin. Il avait fallu dix-sept heures quarante minutes pour passer 99 mots. Le 18, parvenait en Angleterre la réponse du président, composée de 147 mots. Le succès paraissait assuré; il ne restait plus qu'à remédier à l'extrême lenteur des transmissions. On remarqua que le courant d'Irlande à Terre-Neuve passait plus difficilement que celui de Terre-Neuve en Irlande. Tout alla bien cependant jusqu'à la fin du mois; mais le 1^{er} septembre, pendant la transmission d'une dépêche en réponse à une autre qui annonçait que la ligne télégraphique allait être ouverte au public, le courant cessa tout à coup. Par un hasard désirable, le dernier mot reçu était le mot *correct*. Le câble était détruit, il avait duré vingt et un jours et avait servi à l'échange de 271 télégrammes comprenant 2.855 mots pour l'Amérique, et 1.474 pour l'Angleterre. En outre du message de la reine, trois de ces télégrammes avaient une grande importance: les deux premiers, contredisant l'envoi de troupes dans l'Inde, avaient

éparqué au gouvernement anglais 50.000 livres sterling; le troisième annonçait l'arrivée du courrier de l'Inde, et la conclusion de la paix entre la France et l'Angleterre d'une part et la Chine de l'autre.

On s'était livré à une joie prématurée; le découragement qui succéda fut profond, les capitalistes refusèrent longtemps de s'engager de nouveau dans une entreprise aussi périlleuse. Pourtant on ne pouvait renoncer à établir des communications sous-marines: le but qu'on poursuivait était trop grand, l'importance de la réussite était trop appréciée pour qu'on demeurât définitivement abattu par l'insuccès.

Des essais furent tentés à nouveau; mais ce ne fut plus au redoutable Océan qu'on s'attaqua, la Méditerranée, la mer Rouge, le golfe Persique, furent le théâtre de ces tentatives intéressantes.

Des succès partiels ou momentanés, des accidents nombreux et des désastres définitifs justifiaient leur à tour les espérances et les doutes. Un premier câble, de Malte à Alexandrie, se brisa pendant l'immersion (1859). Un second fut établi avec succès le 1^{er} septembre 1861. Il était construit sur des données nouvelles, car on s'était aperçu qu'aux abords des côtes, par des fonds de 60 à 80 mètres (ce que les Anglais nomment *shore-end*), où la mer est bouleversée par les vents, le câble devait être garanti contre les rochers et les vagues, et porter une armature bien plus forte qu'en mer profonde (*deep-sea*). Il se composait donc de quatre parties, dont le poids décroissait selon la profondeur qu'elles avaient à occuper: 1^o de 60 milles de câble *shore-end*, immergé à une profondeur moyenne de 50 brasses; 2^o de 60 milles de *shore-end* moins lourd, immergé à 100 brasses; 3^o de 940 milles de *deep-sea* pesant moitié moins que le précédent, à 600 brasses; 4^o enfin de 360 milles de *deep-sea* plus léger encore, à 2.600 brasses. Cette dernière section pesait proportionnellement cinq fois moins que la première. Cependant ce câble ne dura guère plus d'une année; il subit une interruption de plusieurs mois et ne fut rétabli qu'à la fin d'août 1863. Depuis, il a fonctionné d'une manière intermittente; mais son existence a été si agitée qu'on l'a supprimé et remplacé par un câble plus court, de Malte à Bengazi (Tripoli).

L'histoire du câble d'Algérie, posé une première fois en 1861, en deux sections, celle de Port-Vendres à Mahon (418 kilomètres), et celle de Mahon à Alger (426 kilomètres), ne fut pas brillante. Au bout d'un an, comme celui de Malte, ce câble dut faire relâche. Cet accident donna à réfléchir; on se recueillit avant de procéder à une seconde pose; on choisit un autre itinéraire, celui de Carthagène à Oran; on commanda à l'habile ingénieur M. Siemens un câble d'un nouveau modèle; l'administration française acheta tout exprès un navire, le *Dix-Décembre*, et M. de Vougy, Directeur général des Télégraphes, voulut procéder lui-même à l'installation de la ligne sous-marine. Le câble se composait d'une âme en cuivre entourée de trois couches de gutta-percha. Sur la gutta-percha étaient enroulées en sens inverse deux couches de filin, revêtues elles-mêmes d'une cuirasse en cuivre s'enroulant en spirale, de manière qu'une bande recouvrait la moitié de la bande précédente. La longueur totale était de 309.000 mètres, et le poids de 200 kilogrammes par kilomètre. Personne ne doutait du succès, on parlait de la durée indéfinie du câble. Le déroulement s'opéra, sinon sans peine, du moins sans accident, dans les premiers jours d'octobre 1864. Les signaux furent établis entre Carthagène et Oran; la ligne marcha admirablement pendant... une demi-journée, après quoi le câble Siemens se cassa à quelques kilomètres des côtes d'Espagne. La perte matérielle fut évaluée à 500.000 francs;

mais ce qu'il y eut de plus grave, ce fut la conviction que l'on acquit de l'impossibilité d'établir un câble assez solide pour résister à la violence des courants sous-marins qui bouleversent cette partie de la Méditerranée. Quant aux câbles de Cagliari à Bône, de Malte à Corfou, de la mer Rouge et du golfe Arabique, ils n'eurent également qu'une existence éphémère.

Reprenons maintenant l'histoire du câble transatlantique.

Au mois de mai 1854, une Compagnie puissante, au capital de 25 millions de francs, se forma en Angleterre pour entreprendre la pose d'un nouveau câble entre l'Irlande et Terre-Neuve. Des changements importants, introduits dans la fabrication par les électriciens Fairbairn, Galton, Whitworth, Wheatstone et Thomson; des appareils inventés pour l'embobinage et le déroulement; le plus grand vaisseau qui ait été construit, le *Great-Eastern*, aménagé spécialement pour cette entreprise; tout motivait la confiance des actionnaires et du public.

Disons d'abord un mot de la construction du câble. Il était beaucoup plus gros que celui de 1858, et se composait de sept fils conducteurs au lieu d'un seul,

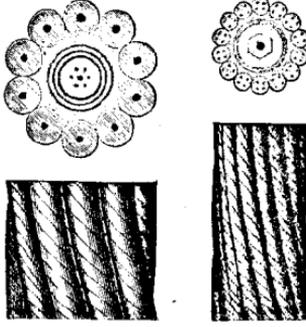


Fig. 21 et 22.

Vues des câbles sous-marins construits en 1864.

tordus en spirale, enduits de la matière isolante dite COMPOSITION CHATTERTON, et recouverts de quatre couches successives de gutta-percha. La quatrième couche était encochée d'un tissu de jute des Indes destiné à garantir la gutta-percha contre la pousse de l'armature. L'armature elle-même, faite de fil de fer enroulés autour de la jute, était protégée contre l'eau de mer par une enveloppe de chanvre gondronné (fig. 21 et 22). La longueur du câble était de 2.300 milles marins (4.250 kilomètres); son poids total était de 23.000 tonnes (21.384.000 kilogrammes). On comprend que le *Great-Eastern* seul pouvait loger une pareille masse.

Au sortir de l'usine Henley, à Woolwich, le câble fut enroulé dans trois réservoirs circulaires en tôle à bord du vaisseau, qui se dirigea, le 43 juillet, vers Valentia. On avait eu la précaution de fabriquer, pour être immergé dans les eaux basses qui entourent les côtes, un bout de câble plus fort et armé de douze fils en spirale, d'une longueur de 27 milles. Un navire spécial, la *Caroline*, était chargé de son transport et de son immersion.

Les deux navires arrivèrent, le 21 juillet, à la petite crique de Follhummerum-Isay, où se trouvaient déjà

deux steamers, le *Terrible* et le *Sphinx*, qui devaient escorter le *Great-Eastern* jusqu'à Terre-Neuve et faire les sondages. Le lendemain matin, on commençait la pose du câble côtier, et on la terminait à minuit. Le surlendemain, à bord de la *Caroline*, on raccordait les deux câbles, et le *Great-Eastern* s'éloignait lentement du rivage d'Irlande, en déroulant le câble.

Tout alla bien pendant le premier jour; mais le 21 juillet, on n'avait encore déroulé que 84 milles de câble, lorsque l'on constata avec stupeur que la communication avec Valentia était interrompue. Grande discussion entre les ingénieurs: à quel point du câble l'accident s'est-il produit? Quelle en est la cause? que faut-il faire? Un coup de canon avertit le *Terrible* et le *Sphinx*, qui sondent et trouvent 500 brasses. On coupe le câble, et l'on procède au relèvement de la partie immergée; mais la mer est grosse, le navire tangue, la machine à vapeur destinée à l'opération se trouve trop faible. Le 23 juillet, à neuf heures quarante-cinq minutes, on n'avait encore relevé que 40 milles de câble. Heureusement, le défaut était à ce point. On découvre un morceau de fer de 2 pouces de long engagé verticalement dans toute l'épaisseur du câble. Fallait-il s'en prendre au hasard ou à la malveillance? Question épineuse et qui ne sera jamais résolue.

Le moment, d'ailleurs, n'est pas favorable aux recherches, le temps presse; la partie détériorée est coupée, l'épissure faite, et l'on se hâte de reprendre le défilé; mais dix minutes sont à peine écoulées, que l'on s'aperçoit que Valentia est de nouveau muette. Va-t-on recommencer la pénible opération de la veille? L'équipage est découragé; on attend. Mais au bout d'un quart d'heure, les signaux recommencent.

Le 26 et le 27, malgré une mer houleuse, on file 6 nœuds à l'heure; on est à 476 milles de l'Irlande et l'on a immergé 532 milles de câble. Le 28, même succès. Le samedi 29, la mer est devenue calme, on a défilé 703 milles. Tout à coup, à une heure de l'après-midi, un cri funeste: *Dead cable!* (Terre morte!) vient troubler la sécurité générale. Encore une fois, on est assez heureux pour relever, malgré la profondeur de 2.000 brasses où l'on se trouve, 2 milles de câble, et pour trouver à cet endroit la cause du dommage. Chose étrange! comme la première fois, c'est un morceau de métal qui, traversant la gutta-percha, perce le câble de part en part. Ici les soupçons de malveillance se forment. Le chef de l'expédition, M. Canning, remarque que les deux accidents ont eu lieu pendant le service de la même équipe d'ouvriers; il s'empresse de changer l'équipe. Le record est bientôt fait, et le défilé recommence.

Le 30, sauf un léger accident arrivé à bord, l'opération se poursuit, et, le 31, le premier réservoir est épuisé. On examine avec soin la partie contenue dans le second réservoir, et l'on découvre encore un morceau de fil de fer enfoncé dans la gutta-percha. Évidemment, une main criminelle ou folle s'efforçait de faire échouer l'entreprise. Malgré cela, le véritable danger était ailleurs, car un peu de précaution eût suffi pour s'assurer de l'isolement parfait du câble avant l'immersion, et pour que le déroulement ne se fit pas sans surveillance. Après avoir réparé le point endommagé, on continue le défilé, et le 1^{er} août au soir, 11.000 milles de câble sont immergés.

Le jour suivant, 2 août, est le jour fatal où tant de travaux, tant d'espérances furent engloutis en un instant. Les deux tiers du trajet étaient parcourus, et 1 212 milles de câble posés, quand on reconnut pour

la troisième fois la présence d'un corps métallique dans le diamètre du câble. Cette réparation n'offrait, comme on la vu, aucune difficulté sérieuse: elle occasionnait seulement une perte de temps regrettable. On s'occupa donc du relèvement, 2 milles de câble étaient déjà, malgré la faiblesse des machines, rentrés d'un fond de 2.000 brasses, quand soudain, cédant sans doute à la tension énorme qu'il supportait, usé d'ailleurs par le frottement sur les tubes de hautes-sières, il se rompit à 10 mètres de l'avant du vaisseau et fut entraîné au fond de la mer de toute la violence de son poids (600 kilogrammes par mille de longueur). Ce fut vers le milieu du jour qu'eut lieu ce désastre, qui frappa tout le monde de consternation. En lisant la relation qu'en a faite M. W. Russell, le correspondant du *Times*, et le seul journaliste qui eût été convié à suivre l'expédition, on comprend le désespoir qui s'empara de l'équipage, en présence de tant de soins perdus, d'une telle œuvre anéantie.

En vain, le capitaine Anderson fit preuve d'un sang-froid et d'une fermeté admirables. Il ne renonça pas à repêcher le câble, et il passa la journée du 3 août tout entière à cette poursuite désespérée. Un grappin avec une amarre de 4.600 mètres fut lancé à la mer pendant que le *Great-Eastern* courait des bordées sur l'espace où devait reposer le câble. Au bout de quinze heures, le grappin mordait et remontait à bord avec sa lourde charge, quand l'amarre se brisa à son tour et va rejoindre le câble perdu.

Le 4 août, le brouillard vient cacher la route. A brouillard succède le gros temps. Le 9 août seulement on rattrape le câble; de nouveau, l'amarre est rompue. Une troisième et une quatrième tentative échouent de la même manière. Enfin le 12, les cordes et les chaînes font défaut; le *Great-Eastern* regagne l'Angleterre.

On peut juger des difficultés qu'on avait à vaincre dans ces parages en lisant, dans le *Daily Telegraph* du 10 mars 1865, le récit des opérations qui terminèrent la pose du câble dans les bouches du Tigre, où il y avait très peu d'eau et un fond de vase sans consistance. Sir Charles Bright, ingénieur électricien chargé de l'entreprise, sortit le premier de la chaloupe qui portait le câble, et se mit résolument à marcher dans cette vase où il entra jusqu'à la ceinture; il fut aussitôt suivi de tous les officiers et de plus de cent hommes, traînant le câble à la remorque, et ne pouvant s'arrêter qu'au risque de disparaître entièrement dans ce fond visqueux. Ils marchèrent ainsi pendant plusieurs heures, bien qu'il n'y eût pas plus de deux kilomètres à traverser; la plupart avaient dû abandonner leurs vêtements, qui les gênaient dans la marée, et dans le retour au vaisseau un indigène périt avant qu'il eût été possible de lui porter secours.

On a beaucoup discuté sur les causes qui ont pu amener la rupture du câble que portait le *Great-Eastern*. En laissant de côté les accusations de malveillance qu'on a fait peser, à tort ou à raison, sur une partie de l'équipage, puisque l'insuccès final de l'entreprise doit être attribué à un autre motif, il reste démontré que les machines, les grappins, les tambours et les autres matériaux étaient ou insuffisants ou mal construits; mais le vice capital, de l'avis de tous les hommes compétents, consistait dans l'arrimage circulaire au fond de réservoirs immobiles. Prenez, en effet, un peloton de ficelle, ou mieux une bande de papier disposée en cercle comme l'était le câble; tirez en ligne droite une des extrémités de la bande en maintenant l'autre extrémité, et vous la verrez se dérouler en spirale. Plus la traction sera forte, plus les tours se resserront. Le câble avait par consé-

quant à résister, d'abord à la tension occasionnée par son poids, ensuite à une torsion que les spires de l'armature et celles mêmes de l'âme ne pouvaient supporter. Il y avait un moyen bien simple de parer à cet inconvénient : il suffisait de lover le câble en huit de chiffre (∞) au lieu de le lover en cercles. On pouvait encore la lover en cercles sur une plaque tournante, et l'on évitait ainsi la torsion et les coques ou anneaux qui en résultent. Ces deux moyens avaient été indiqués à la Compagnie, et l'on ne comprend pas qu'elle n'en ait tenu aucun compte.

Mais c'est précisément parce que l'opération n'a pas eu lieu dans les meilleures conditions possibles qu'on dut supposer que la troisième épreuve réussirait. Il n'est ici question que de la pose du câble ; quant à sa durée, elle dépend nécessairement de sa construction, et il faut convenir que tous les modes employés jusqu'à présent ne garantissent qu'une conservation très limitée.

La gutta-percha n'est pas à l'abri de toute détérioration. Elle est soumise, d'ailleurs, à la loi qui régit tous les végétaux : à l'approche de certaines saisons, elle s'agit, fermente, et ses molécules se distendent. Le chanvre, le lin, même enduits de goudron, ne sont pas inaltérables. Nombre d'inventeurs ont proposé des systèmes d'armature qui, à les entendre, sont excellents. L'un, M. Siemens, a ses bandes de cuivre; un autre, M. Lami de Nozay, propose des tubes d'étain, et, si l'on ne veut pas des tubes, des fils d'amiante. M. Roux assure qu'en enveloppant la gutta-percha de fils de gutta entourés en spirale, on obtient un câble à la fois très résistant et très léger. L'amiral Duncan a imaginé pour enveloppe de minces et jeunes tiges de rotang plissées d'une manière très serrée tout le long du câble. On sait que l'épiderme de cette graminée, qui croît abondamment dans les pays tropicaux, contient assez de silice pour faire feu au briquet. C'est cette silice qui rend le rotang inaltérable dans l'eau de mer. Les Chinois connaissent depuis longtemps cette propriété du rotang, et ils fabriquent avec cette plante les cordes des ancres de leurs navires. Le câble immergé au commencement de l'année 1866 dans le golfe Persique est armé de cette façon.

Maintenant que nous avons énuméré toutes les difficultés qui semblerent rendre impossible le fonctionnement du câble transatlantique, arrivons à l'événement final, qui a donné gain de cause aux esprits persévérants, et a montré une fois de plus que la science sait triompher de tous les obstacles quand elle poursuit un but déterminé par elle-même. Et d'abord, résumons la situation de l'entreprise au moment où l'on fit une nouvelle tentative dont la réussite devait être entière et définitive.

En 1857, la pose du câble transatlantique échoua; en 1858, on reçoit en Europe la première dépêche résultant du succès de l'entreprise, mais à peine s'en félicite-t-on que la transmission des signaux cesse au bout de quelques jours; sept ans plus tard, au mois de juillet 1865, un câble porté par le *Great-Eastern* se rompt à 4.000 milles de la côte d'Irlande; ces trois échecs semblent démontrer combien l'idée qu'on poursuit est chimérique; chez le public, le doute a fait place à l'incrédulité, mais les capitalistes anglais ne se découragent pas; on réunit de nouveaux fonds, on fabrique un nouveau câble en moins d'un an, et, le 13 juillet 1866, le *Great-Eastern* se dirigeait de chef vers Terre-Neuve, chargé de son précieux fardeau, pour aller renouveler encore un effort qui avait trois fois échoué et qui semblait défier les forces humaines.

Le 10 août 1866, l'extrémité du câble était débarquée sur le rivage, et l'épissure était achevée le soir à huit heures quarante-trois minutes. Des dépêches

de félicitations se transmettent avec une grande rapidité entre l'Irlande et Terre-Neuve. L'isolation était parfaite. Telle était la nouvelle que donnaient tous les journaux français et anglais, et la reine Victoria disait : « C'est avec une grande satisfaction que je félicite le pays et le monde entier de l'heureuse issue de la grande entreprise qui avait pour but de relier télégraphiquement l'Europe et l'Amérique. On peut à peine prévoir les bienfaits que l'humanité est appelée à réaliser de ce triomphe de la science. » En effet, le résultat obtenu en 1866 par le *Great-Eastern* a été, malgré les prévisions chagrines de quelques savants, une des plus belles victoires que l'homme ait remportées sur la matière et sur les éléments.

Cette dernière expérience parut décisive en ce qui concerne : 1^o la dimension du vaisseau porteur du câble; le *Great-Eastern*, pouvant plus facilement tenir la mer, donne plus de sécurité pour l'immersion et pour l'arrimage à bord, pour l'établissement du meilleur système de machines spéciales au câble, pour le lestage, qui ne varie pas, le câble étant remplacé au fur et à mesure de son immersion par le même poids d'eau; 2^o la possibilité de maintenir des communications rapides, puisque, avec les appareils actuellement en usage et les alphabets ordinaires, on peut transmettre les dépêches avec une vitesse de 14 mots par minute.

Le succès de la pose du câble transatlantique de 1866 donna un rapide essor à la construction des câbles sous-marins. Sans parler des câbles des États, viugt et une Compagnies télégraphiques se partageaient, en 1883, les correspondances sous-marines du globe avec des câbles dont l'étendue totale était de 79.808 milles marins représentant un capital d'environ 750 millions de francs.

Nous donnons ci-dessous la liste de ces compagnies d'après les renseignements fournis par M. Preece.

LISTE DES COMPAGNIES

DE CABLES SOUS-MARINS

COMPAGNIES.	ÉTENDUE
	DE CABLES. — Milles marins.
Anglo-américaine.....	10.688
Américaine du Nord.....	5.080
De la Mer Noire.....	350
Du Câble sous-marin du Brésil.....	3.667
Du Câble sous-marin de Cuba.....	942
Du Câble direct espagnol.....	808
Du Câble direct des États-Unis.....	2.983
De l'Est.....	47.082
De l'Est et de l'Afrique du Sud.....	3.858
De l'Extension vers l'Est.....	10.430
Du Câble transatlantique français.....	3.408
De l'Union allemande.....	224
Du Grand-Nord.....	4.850
Indo-Européenne.....	8
De l'Extension à la Méditerranée.....	204
De Montevideo et du Brésil.....	2.008
De la Plata et du Brésil.....	1.600
Sous-marine.....	609
De l'Inde occidentale et de Panama.....	4.119
De l'Ouest et du Brésil.....	3.750
De la Côte Ouest de l'Amérique.....	5.490
Total.....	79.808

Les câbles d'États, généralement de petite longueur, et au nombre de 420 en 1883, complétaient un réseau

sous-marin représentant plus de trois fois et demie la longueur du méridien terrestre.

Nous donnons ri-joint le tracé des grandes communications par lignes sous-marines.

Le nombre des câbles transatlantiques du Nord est de 10. Le câble transatlantique du Sud a été doublé ; enfin la carte indique les communications nouvelles établies entre l'Europe et les côtes occidentales de l'Afrique, et dans les régions de l'Orient entre la Cochinchine, le Tonkin et Hong-Kong, entre Shanghai et l'île Quelpart, entre le Japon et la Corée. Depuis Wladivostock jusqu'à Hong-Kong tous les câbles anciens ont été doublés.

Jusqu'ici, le Pacifique seul n'a pas encore été traversé.

Voici maintenant des extraits d'une conférence faite en 1881 à la Réunion internationale des Électriciens, par M. Boisclé, où cet électricien a résumé très clairement les procédés actuellement suivis pour la fabrication des câbles, l'étude des fouds sur lesquels ils doivent reposer, l'embarquement et la pose propre-

ment dite, les causes d'accidents et de dérangements et les moyens d'y obvier, et a donné enfin des détails sur le fonctionnement des lignes sous-marines.

Fabrication des câbles. — Le nombre des fils composant le toron est presque toujours de sept, dont un central servant d'âme à la corde ainsi constituée. Ce fil central est généralement d'un diamètre supérieur à celui des six fils extérieurs. Cette disposition, adoptée pour la première fois par M. Siemens lors de la construction du câble direct, en 1875, est un moyen terme entre le fil unique et le toron à fil d'égal diamètre; elle a donné jusqu'ici les meilleurs résultats.

Les derniers grands câbles de l'Atlantique sont formés d'un toron de onze fils, dont un central de section supérieure aux dix fils extérieurs. Le poids du conducteur varie entre 160 et 100 kilogrammes environ par mille marin (le mille marin télégraphique, mesure adoptée pour les épreuves et pour toutes les opérations relatives aux câbles sous-marins, vaut 2.029 yards au-

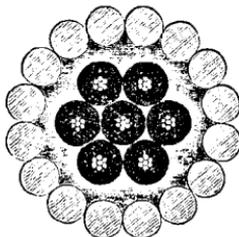


Fig. 23 et 24.
Câbles sous-fluviaux ou sous-marins.

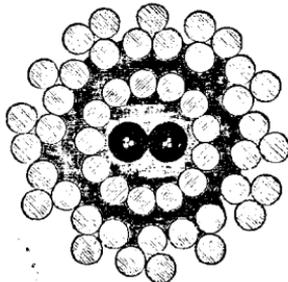


Fig. 15.
Câble d'atterrissage à armature composée.

glais, soit 1.855^m,284). La fabrication du toron est fort simple. Elle s'exécute à l'aide d'une machine analogue à celles à faire la passementerie. Les bobines contenant le fil fin destiné à former le faisceau sont placées sur une table tournante mise en rotation autour du fil central. Des freins règlent convenablement le mouvement de chaque bobine et s'ajustent à la main jusqu'à ce qu'on sente une tension égale sur chaque fil qui s'enroule ainsi avec un effort égal et constant. Chaque longueur de fil est soulée à la suivante, afin qu'aucune extrémité libre ne puisse percer l'enveloppe isolante. Le toron est manufacturé par longueurs de 1 ou 2 milles. On relie ensuite ces tronçons pour en former un tout solide et continu. Cette opération est délicate.

La matière isolante ou diélectrique généralement employée est la gutta-percha, que l'on applique à chaud. Le fil, avant d'être recouvert de gutta, est enduit d'une composition spéciale (composition Chatterton : mélange de gutta, de goudron de Norvège et de résine). Elle empêche le cuivre d'être détrempé au cas où la gutta se fissurerait.

L'armure destinée à protéger l'âme du câble varie avec les dangers auxquels il est exposé, et par suite avec les profondeurs dans lesquelles il doit être immergé. Son premier revêtement n'est qu'un renfortage ou sorte de matelas interposé entre l'âme et les fils d'acier ou de fer constituant la cuirasse.

Ce revêtement est généralement formé de filin de chanvre fortement imprégné d'une dissolution de tannin destinée à le conserver sous l'eau; deux couches successives de chanvre ainsi préparé sont enroulées en sens inverse.

On employait autrefois le goudron comme substance protectrice du chanvre, mais on préfère maintenant réserver cette matière pour la seconde enveloppe de chanvre en contact avec les fils de fer, qui sont ainsi préservés de l'oxydation.

L'enveloppe extérieure est en fil de fer ou d'acier, enroulés sans aucune torsion. Ces fils sont joints en hélices tangentes les unes avec les autres sur toute leur longueur et constituent un fourreau qui ne s'allonge pour ainsi dire pas à la traction et maintient l'âme intacte. Le nombre et les dispositions de ces fils varient de manière à donner au câble une résistance mécanique de plus en plus grande à mesure qu'on s'approche des côtes, où les risques sont plus grands. Tous les fils de fer sont galvanisés et ainsi protégés contre la rouille.

Enfin les câbles barbotés de fer sont finalement recouverts de deux couches inverses et successives de chanvre de Manille ou de Russie mélangé à de la poix minérale ou de l'asphalte combiné avec du silicate de chaux qui lui donne la consistance suffisante. Le câble recouvert de bitume prend une forme arrondie en passant à travers une matrice qui

rejette l'excédent de matière. Il est enfin, pour les manœuvres à sec, recouvert d'une couche de craie maintenue en suspension dans l'eau de manière à prévenir l'adhérence des différentes spires entre elles. Les câbles côtiers proprement dits sont encore considérablement renforcés par une nouvelle carapace de gros fils de fer galvanisés, tordus trois à trois et disposés en 12 torons en hélice qui les rendent beaucoup plus maniables que des fils massifs de section équivalente.

Nous donnons, fig. 23, 24 et 25, les vues en coupes transversales de deux types de câbles sous-marins ou sous-marins et d'un câble d'atterrissement.

Le premier type (fig. 23) comprend 4 brins de 0^m,0008 ; le diamètre du diélectrique est de 0^m,008 ; le câble est à un seul conducteur ; l'armature est composée de 10 fils de fer galvanisés de 0^m,004 de diamètre. Le poids approximatif d'un câble ainsi constitué est de 1.300 kilogrammes par kilomètre.

Le deuxième type (fig. 24) comprend 7 conducteurs à 7 brins de 0^m,0008 ; le diamètre du diélectrique est de 0,008 ; l'armature est composée de 16 fils de fer galvanisés de 0^m,007 de diamètre. Le poids approximatif d'un pareil câble est de 8.000 kilogrammes par kilomètre.

Enfin, le câble d'atterrissement (fig. 25) est à armature composée. Il contient 2 conducteurs à 3 brins de 0^m,0008 de diamètre ; le diamètre du diélectrique est de 0^m,007. L'armature de ce câble est faite : 1^o de 13 fils de fer galvanisés de 0^m,005 de diamètre ; 2^o de 12 torons de 3 fils de fer galvanisés de 0,005 de diamètre. Le poids approximatif est de 9.430 kilogrammes par kilomètre de longueur.

« Essai des fils de fer et des câbles. —

On construit des machines pour les essais à la traction des fils de fer et des câbles. Dans ces machines, l'effort à mesurer est équilibré par l'action de la pression atmosphérique s'exerçant sur un plateau mobile suspendu à un plateau supérieur fixe.

« Étude du terrain. —

Pour étudier la route qu'il convient de suivre pour immerger le câble, on pratique des sondages à des distances plus ou moins grandes, suivant la configuration du sol, assez éloignées quand le fond est uniforme ; on les rapproche à 2 ou 3 milles l'un de l'autre par des profondeurs variables.

On détermine ainsi non seulement le relief, mais aussi la nature du sol, et on inscrit les indications obtenues sur des cartes marines de grande échelle.

Le fond de l'Atlantique commence à être bien connu, grâce aux nombreux sondages qui y ont été effectués. Ce fond présente un des plus beaux lits de câble qu'on puisse trouver.

A partir de la côte européenne, le sol s'abaisse par une pente très douce jusqu'à 200 milles environ de la rive, où la profondeur n'atteint pas 900 mètres ; puis il tombe rapidement à 2.800 et 3.000 mètres, pour s'établir ensuite à peu près uniformément jusqu'aux accores du banc de Terre-Neuve, où il se relève lentement avant d'aboutir aux îles Saint-Pierre et Miquelon. Son plus grand défaut est la vaste étendue des bas-fonds des bancs de Terre-Neuve, constamment sillonnés par les pêcheurs du monde entier. Quant au sol de grand fond lui-même, il est très brutalement formé de sable mélangé à de nombreux débris de coquilles.

« Embarquement et pose. —

Le câble, fabriqué dans des usines situées au bord de la mer, est embarqué sur des navires spécialement aménagés pour le recevoir. Ces navires sont construits de façon à marcher aussi facilement en arrière qu'en avant, sans

être obligés de virer. Ils portent des tambours d'enroulement et des freins destinés à régler la vitesse d'immersion, et un dynamomètre permettant de suivre graduellement les efforts de tension et par suite de régler, à l'aide de freins, la vitesse d'immersion. Les bouts côtiers du câble, étant solidement amarrés au rivage, sont posés à bras ou à l'aide de chalands et radeaux jusqu'au point où le navire stationne, dans les limites de la profondeur qui lui est nécessaire. Cette opération terminée, avec ou sans épissure, suivant les cas, le navireève l'ancre et file le câble par derrière sans s'arrêter, tant qu'il ne se produit pas d'accident. Pendant ce temps, le navire est en communication électrique permanente avec le rivage, où se trouve un poste, dont la seule mission est de répondre aux signaux du navire sans avoir à lui poser aucune question. On peut ainsi contrôler sans interruption et par des méthodes spéciales les différentes qualités du câble sur lequel les épreuves n'ont pas cessé pendant l'embarquement.

On continue la pose nuit et jour, tant que le navire possède du câble à bord. Pour les grands câbles de l'Atlantique, dont le poids est considérable, on ne peut faire une seule expédition. Le *Faraday*, qui est actuellement le plus fort navire spécialement aménagé pour la pose des câbles, jauge près de 5.000 tonneaux. Malgré ce fort tonnage, il ne peut faire qu'en trois fois une immersion de ce genre. Autant que possible, on fait épouser au câble la configuration du sol, tout en lui laissant un certain mou nécessaire en cas de relèvement. Ce mou, ou *slack*, est de 5 ou 6 pour 100 environ.

« Dangers et causes d'accidents. —

Les accidents auxquels sont exposés les câbles immergés sont très nombreux. En laissant de côté ceux inhérents à un vice de construction auquel on doit toujours parer avant ou après la pose, on peut classer en trois catégories les causes accidentelles destructives des câbles.

D'abord les causes physiques, telles que bancs de glace ou icebergs, surtout pour les câbles de l'Atlantique. Ces bancs, qui émergent parfois de 100 mètres au-dessus du niveau de l'eau, arrivent souvent à atteindre une profondeur de 500 à 600 mètres, en raison des matières étrangères qui viennent augmenter la densité de la partie submergée ; et lorsque dans ces conditions ils touchent le fond de la mer, ils détruisent tout sur leur passage.

C'est ainsi qu'on a vu un jour les trois câbles existant alors dans l'Atlantique coupés par une même descente de glace, qui rompit simultanément toutes les communications entre les deux mondes. Les frottements des câbles sur les roches et sur les bancs de corail, les tremblements de terre, les éboulements sous-marins, sont encore des causes fréquentes d'accidents.

Vient ensuite les animaux destructeurs : les annélides ou les petits crustacés, dont on a constaté l'existence à des profondeurs de 2 à 3.000 mètres, détruisent le chanvre ou la gutta-percha, se logent dans cette dernière et établissent ainsi une communication à la terre. Les requins, les seies ou espalons et les baleines amènent aussi des dérangements des plus bizarres.

Enfin, parmi les causes mécaniques accidentelles, il faut citer les ancres et engins de pêche, qui viennent dans les bas-fonds et jusqu'à 200 mètres de profondeur détruire les câbles, soit en les coupant par gros temps, soit en leur faisant des blessures qui paralysent leur travail. Heureusement que, peu à peu, le câble s'enfoncé dans le sol, ou se revêt de végétations calcaires et de coquilles qui lui servent de cuir

rassé. Les câbles sous-marins sont donc bien plus exposés aux accidents dans les premières années de leur existence qu'au bout d'un certain temps de pose.

« **Réparations.** — Les réparations des câbles sous-marins comportent une série d'opérations bien plus compliquées que celles de leur immersion. Quand un accident survient, on commence par déterminer, grâce à l'emploi de procédés de mesure ingénieux, la distance électrique et géographique du dérangement. (V. MESURES ÉLECTRIQUES). Les Compagnies télégraphiques sous-marines possèdent des navires spécialement agencés pour effectuer ces réparations, et ces navires stationnent constamment dans les parages où les accidents sont les plus fréquents; de cette façon, dès qu'une interruption se produit on peut réparer l'accident en un laps de temps aussi court que possible.

« **Fonctionnement.** — Un câble sous-marin constitue un véritable CONDENSATEUR, dont le conducteur forme l'armature intérieure, et l'eau, le sol ou l'armure, l'armature extérieure. Il se produit donc dans ces câbles les phénomènes d'induction, de condensation et d'absorption inhérents aux condensateurs qui sont une des grandes difficultés de la transmission électrique sous-marin.

Un câble à une CAPACITÉ ÉLECTRO-STATIQUE spécifique propre. (On nomme ainsi le pouvoir avec lequel il retient, par mille marins, une charge électrique.) Cette charge étant prise sur le courant qui le traverse, on conçoit que la vitesse de transmission soit en raison inverse de la capacité électro-statique du câble. La capacité totale de l'un des câbles de l'Atlantique, dont la longueur est de 4.000 kilomètres environ, représente celle d'une batterie électrique dont la surface totale aurait 84.000 mètres carrés, ou d'un condensateur à feuilles d'étain dont l'étendue serait de 11.030 mètres carrés. Ce serait la capacité d'une sphère isolée dont la dimension serait à peu près celle de la terre.

La valeur commerciale d'un câble dépend du travail qu'il peut effectuer, c'est-à-dire du nombre de mots qu'il peut transmettre dans un temps donné.

D'une manière générale, la vitesse de transmission est inversement proportionnelle à la résistance du conducteur, à la capacité électro-statique du câble et au carré de sa longueur. La résistance du conducteur est elle-même en raison inverse de son diamètre, et la capacité pour un diélectrique déterminé est une certaine fonction du rapport des diamètres du conducteur et de l'âme.

Il résulte de là qu'il existe, pour une âme donnée, un rapport mathématique entre ces deux diamètres, qui fournit la vitesse maxima. Dans la pratique, on est amené à diminuer un peu le diamètre du conducteur; on compense l'inconvénient qui peut en résulter en prenant un métal aussi pur que possible.

Un autre phénomène à signaler, parce qu'il joue un grand rôle dans la télégraphie sous-marine, c'est l'absorption qui se manifeste sous la forme connue des CHARGES RÉSIDUELLES. Cette absorption retarde la transmission et augmente en apparence la résistance d'isolement. Elle oblige à adopter dans la pratique un intervalle de temps-type de charge et de décharge pour les épreuves d'isolement. (V. MESURES ÉLECTRIQUES.) Un signal émis d'Europe met un certain temps pour arriver au delà de l'Atlantique. On évalue à $\frac{12}{100}$ de seconde le temps qu'il met à y parvenir, et encore ne le voit-on pas se manifester aussi rapidement. L'instrument récepteur le plus délicat ne donne rien au bout de 2/10 de seconde. Le courant n'arrive pas tout d'une pièce, il augmente graduellement jusqu'à un maximum à partir duquel il diminue

ensuite progressivement en s'écoulant, en un temps égal à celui qu'il a mis pour produire son effet maximum. De là la nécessité d'employer des appareils spéciaux, décrits à l'article TÉLÉGRAPHIE, pour arriver à une grande rapidité relative dans la transmission par câbles sous-marins.

CADRAN (Appareil A). — Récepteur télégraphique appelé aussi appareil Bréguet. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

CADRE GALVANOMÉTRIQUE. — Nom donné à la bobine rectangulaire en bois, ivoire, ébonite, etc., sur laquelle on enroule le fil destiné à agir sur l'aiguille d'un GALVANOMÈTRE. On donne quelquefois ce nom à l'ensemble du cadre et du fil.

CADRE MODÉRATEUR ou AMORTISSEUR. — Sorte de CADRE GALVANOMÉTRIQUE en cuivre rouge servant à amortir les oscillations de l'aiguille d'un galvanomètre. L'AIGUILLE AIMANTÉE, en oscillant, détermine en effet, dans le cadre, des COURANTS DE FOUCAULT de sens tels, qu'ils tendent à ralentir les oscillations.

CAGE DE FARADAY. — Appareil imaginé par Faraday pour démontrer la propriété que possède l'électricité de se porter à la surface des corps. Il se compose d'un cube creux en bois recouvert de papier conducteur, qu'on charge à un POTENTIEL quelconque et à l'intérieur duquel on ne peut constater aucune trace d'électricité.

CALORIE. — Unité employée pour mesurer l'énergie quand elle se manifeste sous forme de chaleur. C'est la quantité de chaleur nécessaire pour porter de 0° à 1° centigrade 1 kilogramme d'eau.

Une calorie est équivalente à 424 kilogrammètres. Ce rapport a été déterminé notamment par M.M. Joule, Regnaud, Hirn.

CALORIMÈTRE. — Le calorimètre de Fabre et Silbermann a été employé par ces savants et ensuite par d'autres expérimentateurs pour mesurer le nombre de calories produites par les réactions intérieures des différentes PILES.

CAME CORRECTRICE. — Organe de l'appareil télégraphique imprimeur Baudot et de celui de Hughes. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

CANALISATION ÉLECTRIQUE. — Nom par lequel on désigne un ensemble de CONDUCTEURS reliant une source d'électricité aux divers appareils qui fonctionnent sous l'influence du courant fourni par cette source.

Les conducteurs servant aux transmissions téléphoniques et télégraphiques sont généralement très longs; on emploie soit des FILS nus aériens, soit des fils recouverts de substances isolantes et d'armatures protectrices de diverses natures, qui prennent alors le nom de CÂBLES (câbles sous-marins, câbles placés dans des conduites souterraines, dans les égouts, etc.).

Les conducteurs souterrains s'emploient surtout pour l'éclairage électrique et pour l'établissement des réseaux téléphoniques urbains; on donne plus particulièrement à l'ensemble de ces conducteurs le nom de canalisation électrique.

On distingue deux catégories de canalisations électriques :

1° Celles qui servent à conduire des courants de faible intensité. (C'est le cas des canalisations pour transmissions télégraphiques et téléphoniques.)

2° Celles qui servent à conduire des courants de forte intensité. (C'est le cas des canalisations pour éclairage électrique et pour TRANSMISSIONS et TRANSPORT DE FORCE.)

On trouvera au mot CABLE tous les renseignements concernant l'établissement des canalisations de la première catégorie, et au mot RÉPÉTIONNEUR des détails intéressants sur la pose des câbles du réseau téléphonique de Paris. En ce qui concerne celles de la seconde catégorie, nous ferons remarquer que les principes à suivre pour isoler les conducteurs sont les mêmes que dans le premier cas, mais nous ajouterons que les isollements doivent être faits avec le plus grand soin afin d'éviter la mise en court circuit de deux conducteurs appartenant à une même machine dynamo-électrique et que ces conducteurs doivent avoir une section suffisante pour : 1° ne pas produire dans le circuit une élévation de température susceptible de détruire les isolants et mettre ainsi la canalisation hors de service; 2° ne pas déterminer une trop grande chute de potentiel entre la source d'électricité et les appareils récepteurs (lampes à arc, à incandescence et bougies, dans le cas de l'éclairage; machines dynamos réceptrices, dans le cas des transmissions de force).

La pratique a permis d'établir la règle suivante :

L'âme conductrice des câbles doit toujours être en cuivre, ou en bronze phosphoreux ou silicieux de haute conductibilité et avoir au moins 1 millimètre carré de section par 2 ou 3 ampères du courant à transmettre.

Ainsi, pour un courant de 100 ampères, la section de l'âme du conducteur devra avoir au minimum 33 à 35 millimètres carrés. Cette section devra même être augmentée dans le cas où les conducteurs sont entourés d'une enveloppe protectrice en plomb, un conducteur de ce genre se refroidissant très peu.

Nous citerons comme exemple de canalisation électrique celle qui a été imaginée par Edison et qui est appliquée depuis quelques années à New-York pour l'éclairage par lampes à incandescence; elle a donné jusqu'à présent de bons résultats.

Le circuit principal de distribution est formé de deux barres de cuivre de section hémicylindrique placées à faible distance, l'une en regard de l'autre, dans l'intérieur d'une conduite en tuyaux de fonte ou de plomb, suivant les cas. L'intervalle séparant ces conducteurs et celui existant entre eux et les parois intérieures des tuyaux sont remplis d'une substance très isolante. (La fig. 1 donne une coupe transversale de la canalisation.)

Lorsqu'on veut établir un branchement sur le conducteur principal afin d'alimenter, par exemple, les lampes placées dans une maison, on procède comme le montre la fig. 2. On



Fig. 1.

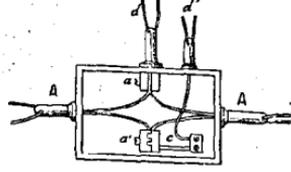


Fig. 2.

fait arriver les conducteurs principaux A et A dans une boîte en fonte servant de regard. On dénude les

deux barres de cuivre de leur isolant et on fait arriver les deux extrémités d'un même conducteur dans des presses à vis a et a' . C'est sur ces presses à vis que sont montés les conducteurs d et d' qui pénètrent dans le local à éclairer. On remarquera toutefois que le conducteur d' n'est pas relié directement à la presse a , mais que cette liaison s'effectue par l'intermédiaire d'un coupe-circuit en plomb c , afin d'éviter les accidents qui pourraient provenir d'un excès d'intensité dans le courant.

Les calculs relatifs à l'établissement d'une canalisation d'électricité sont exposés à l'article DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ.

CANDLE (de l'angl. *candle*, flambeau). — Représente la lumière d'une bougie de sperma celi dont l'intensité est équivalente aux 96/100 d'un bec carcel brûlant 42 grammes d'huile à l'heure. — La candle anglaise est une unité d'intensité lumineuse employée pour les mesures photométriques.

CANNE ÉLECTRIQUE. — Tube de verre muni d'une armature semblable à celle de la bouteille de Leyde et enfermé dans un tube métallique.

CANOT ÉLECTRIQUE. — (V. BATEAU ÉLECTRIQUE et PROPULSION.)

CAP. — Angle que fait l'aiguille du COMPAS de marine (ou boussole marine) avec l'axe du bâtiment.

CAPACITÉ ÉLECTRO-STATIQUE. — On désigne ainsi la propriété que possède tout corps conducteur d'emmagasiner de l'électricité lorsqu'il est porté à un potentiel déterminé.

La quantité d'électricité emmagasinée est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à la valeur du potentiel. On mesure la capacité d'un corps en supposant que ce potentiel est égal à l'unité, et on l'exprime en nombres en la rapportant à une unité particulière, le FARAD, ou le plus souvent, le MICROFARAD.

Le farad est la capacité d'un corps qui, porté au potentiel d'un VOLT, emmagasinerait un COULOMB.

Le microfarad représente une capacité 1.000.000 de fois plus petite.

Le farad et le microfarad sont deux unités du système électro-magnétique.

Dans l'étude des phénomènes d'électricité statique, on est naturellement conduit à prendre comme unité de capacité celle d'une sphère de rayon 1. (V. UNITÉS.)

La mesure des capacités s'obtient par comparaison avec des corps ayant une capacité connue. (V. MESURES ÉLECTRIQUES.)

La capacité d'un corps varie considérablement avec sa forme, comme on le verra à l'article CONDENSATEUR.

CAPACITÉ INDUCTIVE SPÉCIFIQUE. — Soient deux CONDENSATEURS de même surface et dont les armatures soient situées à une même distance. Dans l'un, c'est de l'air qui est interposé entre les deux armatures; dans l'autre, c'est un diélectrique quelconque. Le rapport de la capacité du deuxième condensateur à celle du premier est appelé la « capacité inductive spécifique de la substance qui constitue le diélectrique du deuxième condensateur ».

Ceci suppose que la nature du diélectrique interposé entre les armatures modifie la capacité d'un condensateur, et c'est ce que l'expérience démontre. L'étude des capacités inductives spécifiques a une grande importance, tant au point de vue théorique qu'au point de vue pratique.

1° Au point de vue théorique, « si l'induction électrique était une action directe à distance, il faudrait s'attendre à ce qu'elle se transmette également à travers tous les isolants. Un des arguments les plus puissants en faveur de l'hypothèse qu'elle est une déformation des particules de l'isolant résulte de ce fait que les divers isolants la transmettent avec des énergies très différentes. » (Gordon.)

2° Au point de vue pratique, elle a une grande importance dans la télégraphie sous-marine, car le nombre de mots que l'on peut transmettre par minute dans un câble dépend, dans une large mesure, de la faible capacité inductive spécifique de l'isolant du câble.

On trouve à l'article BALANCE D'INDUCTION STATIQUE l'exposé d'une méthode très perfectionnée et employée par Gordon pour la détermination des capacités inductives spécifiques.

Voici, d'après Fleeming-Jenkin, la capacité inductive spécifique des diélectriques les plus employés, celle de l'air étant prise pour unité.

Air.....	1,00
Résine.....	1,77
Poix.....	4,80
Cire jaune.....	1,86
Verre.....	4,90
Soufre.....	4,93
Gomme laque.....	4,05
Paraffine.....	4,08
Caoutchouc pur.....	2,80
Composition de Hooper.....	3,10
Gutta-percha de W. Smith.....	3,40
Gutta-percha.....	4,20
Mica.....	5,00

La capacité inductive spécifique d'une substance quelconque est loin d'être constante. Elle varie avec les moindres modifications moléculaires.

Elle est aussi fonction du temps. M. Gauguain a constaté que si la durée de la charge est extrêmement courte, la capacité inductive spécifique de tous les corps est voisine de celle de l'air, mais qu'elle s'accroît rapidement jusqu'à une certaine valeur limite.

La capacité inductive spécifique de tous les gaz est extrêmement voisine de celle de l'air, comme le fait voir le tableau suivant, établi par MM. Ayrton et Perry.

Air.....	1,0000
Vide.....	0,9985
Acide carbonique.....	1,0008
Hydrogène.....	0,9998
Oxyde de carbone.....	1,0004
Acide sulfureux.....	1,0037

Enfin, voici des nombres relatifs à quelques liquides :

Benzine.....	2,198
Sulfure de carbone.....	1,810
Essence de térébenthine.....	2,153
Pétrole.....	2,051
Air.....	1,000

CAPILLAIRE (Électromètre) de Lippmann. — (V. ÉLECTROMÈTRE.)

CAPILLARITÉ. — Phénomènes électro-capillaires.

— La découverte de ces phénomènes paraît devoir être attribuée à Becquerel.

Il fit d'abord l'expérience suivante (*Annales de Chimie et de Physique*, 2^e série, t. XXIV, p. 241) : On met en communication avec les deux bornes d'un

GALVANOMÈTRE une cuiller de platine remplie d'acide chlorhydrique et un fragment de mousse de platine. Si l'on vient à plonger la mousse dans l'acide, l'aiguille du galvanomètre est fortement déviée; mais pour recommencer l'expérience, il faut laver la mousse de platine, puis la porter au rouge. L'expérience réussit encore mieux en substituant des charbons de bois à la mousse.

Il n'est pas démontré que le courant produit soit dû à un phénomène de capillarité, car on peut l'attribuer soit à l'échauffement de la mousse ou du charbon, soit à l'action des gaz qu'ils renferment.

C'est M. Lippmann qui, le premier, a élucidé la question et démontré que les phénomènes électro-capillaires donnent lieu à de véritables forces électromotrices.

Il a pu les rattacher à une loi générale que l'on peut énoncer ainsi :

On ne peut déformer un fluide ou modifier chimiquement la nature de sa surface sans dépenser un travail positif ou négatif; ce travail dépense ou gagné correspond à une variation d'énergie électrique.

Il est facile de se rendre compte de la nécessité de cette loi. En effet :

On sait, d'après Volta, qu'au contact de deux corps quelconques il y a établissement d'une différence de potentiel. Il en résulte qu'à la surface du fluide considéré il y aura une quantité d'électricité libre proportionnelle à cette différence de potentiel et à la capacité de cette surface. Donc,

1° Toute action mécanique qui viendra modifier la forme de cette surface devra augmenter ou diminuer sa capacité. La différence de potentiel demeurant constante, il devra donc y avoir écoulement d'électricité dans un sens ou l'autre.

2° Réciproquement, si l'on met soit la masse fluide, soit le milieu ambiant en relation avec une source d'électricité qui élève son potentiel, la quantité d'électricité libre répandue à la surface du fluide augmentera, et par suite sa tension superficielle; la surface devra donc se déformer jusqu'à ce que sa capacité ait suffisamment augmenté pour qu'il y ait équilibre entre la tension superficielle et les forces extérieures qui tendent à ramener la surface à sa forme primitive.

3° Si l'on vient à modifier la composition chimique de la surface du fluide, en l'électrolysant par exemple,

on modifie la différence de potentiel qui existait entre la masse fluide et le milieu environnant.

La quantité d'électricité libre répandue sur la surface doit donc varier, et par suite la tension superficielle et la forme de la surface.

Ces divers phénomènes, que pouvait prévoir la théorie, M. Lippmann les a mis en évidence par les expériences suivantes :

1° Un entonnoir A est rempli de mercure qui s'écoule par la pointe et vient s'amasser au fond d'un récipient (fig. 1).

Un conducteur isolé b plonge dans la couche inférieure de mercure, un autre a dans l'entonnoir.

Enfin, la pointe de l'entonnoir plonge dans un bain d'eau acidulée.

Si on réunit les conducteurs a et b aux bornes d'un

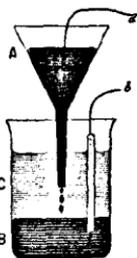


Fig. 1.

GALVANOMÈTRE, on voit que celui-ci est parcouru par un courant. Si, au lieu d'employer un galvanomètre, on emploie un **ÉLECTROMÈTRE** tel que celui de M. Lippmann, on constate que le mercure de l'entonnoir est à un potentiel inférieur à celui du mercure du verre, et que ce potentiel varie périodiquement pendant la formation de chacune des gouttes.

Lorsque la pression de la colonne mercurielle dans l'entonnoir demeure trop faible pour vaincre les forces dues à la capillarité, le circuit électrique étant interrompu, on constate que l'écoulement du mercure recommence dès qu'on rétablit ce circuit.

Dans cet appareil, l'énergie du courant est empruntée au travail effectué par la pesanteur pendant la chute des globules.

2° Un tube capillaire A communique d'une part avec un entonnoir cylindrique C, et d'une autre, à l'aide d'un siphon, avec un vase en verre D contenant de l'eau acidulée au fond de laquelle se trouve une couche B de mercure (fig. 2).

Dans chacune des masses de mercure B et C plonge

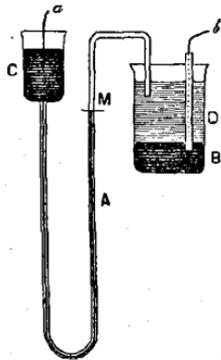


Fig. 2.

un conducteur. Si on établit par l'intermédiaire des deux conducteurs une différence de potentiel entre les masses B et C, on voit varier le niveau du ménisque M.

Cet appareil a servi de principe à la construction de l'**ÉLECTROMÈTRE** de M. Lippmann.

Dans cette expérience, le courant agit en modifiant la composition chimique de la surface du ménisque mercuriel M. On fait ainsi varier la différence de potentiel établie au contact de l'eau acidulée et du mercure...

Nous devons citer encore une curieuse expérience de M. d'Arsonval et qui fournit un exemple du développement d'un courant électrique par la seule déformation d'un corps. On la trouvera décrite à l'article **MUSCLE ARTIFICIEL**.

CARACTÉRISTIQUE. — Nom donné par M. Marcel Deprez à une courbe représentant la force électromotrice développée par une machine d'induction en fonction de l'intensité qui traverse son armature, lorsque celle-ci tourne à une vitesse déterminée et constante.

La force électromotrice d'une machine d'induction étant très sensiblement proportionnelle à sa vitesse de rotation, lorsqu'elle est parcourue par un courant d'intensité constante, les différentes caractéristiques correspondant aux différentes vitesses que l'on peut

communiquer à son armature peuvent se déduire toutes de l'une d'entre elles, en multipliant les ordonnées correspondant à une même abscisse par le rapport des vitesses de rotation relatives à la caractéristique cherchée et à la caractéristique connue.

Le moyen le plus commode de relever l'une des caractéristiques d'une machine consiste à faire tourner celle-ci à une vitesse constante et à faire varier graduellement la résistance du circuit extérieur. On relève à chaque instant, au moyen de deux galvanomètres, l'un très résistant et monté en dérivation entre les deux bornes de la machine, l'autre très peu résistant et monté en tension dans le circuit, la différence H de potentiels aux bornes et l'intensité I du courant. Connaissant la résistance intérieure R de la machine, on déduit la force électromotrice développée de la formule

$$E = H + RI.$$

On porte les intensités en abscisses et les forces électromotrices correspondantes en ordonnées.

La naissance de la caractéristique d'une machine permet de résoudre tous les problèmes que l'on peut se proposer au sujet de son emploi. Nous allons signaler les principaux :

1° *A quelle vitesse ω doit-on faire tourner une machine dont on connaît la caractéristique correspondante à une vitesse de rotation déterminée ω_0 , pour qu'elle puisse développer dans un circuit extérieur renfermant une force électromotrice e de sens contraire à celle de la machine, et de résistance r , un courant d'intensité I ?*

La force électromotrice que devra développer alors la machine, sera :

$$E = (r + R)I + e.$$

Prenant une longueur ol comme abscisse, portons sur l'ordonnée correspondante une longueur proportionnelle à E , en employant la même échelle que celle qui a servi à tracer la caractéristique, nous déterminons un point M (fig. 1).

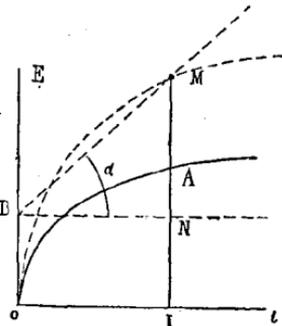


Fig. 1.

L'ordonnée IM coupera en A la caractéristique connue. Pour résoudre le problème proposé, il faudra faire tourner la machine à une vitesse ω telle que

$$\omega = \omega_0 \frac{IM}{IA}.$$

2° *Étant donnée la caractéristique d'une machine, déterminer l'intensité du courant qu'elle développera*

en tournant à la vitesse ω lorsqu'on la fermera sur un circuit de résistance r et renfermant une force électromotrice de sens contraire e .

Soit I cette intensité; nous aurons encore :

$$E = (r + R)I + e.$$

Nous pouvons déduire de la caractéristique connue correspondant à la vitesse ω_0 celle qui correspond à la vitesse ω . Supposons que cette caractéristique soit représentée en pointillé sur la fig. 1.

Cette courbe étant tracée, prenons sur l'axe oE une longueur oB proportionnelle à e , et traçons à partir de ce point une droite faisant avec l'axe oI un angle α tel que $\operatorname{tg} \alpha = (r + R)$.

Cette droite rencontrera la caractéristique correspondante à la vitesse ω en un point M ayant pour abscisse oI .

Cette abscisse oI représentera l'intensité cherchée. En effet, l'on a :

$$MI = NI + NM,$$

d'où

$$MI = e + (oI) \operatorname{tg} \alpha = e + (r + R)I = E.$$

En général, la caractéristique d'une machine dynamo-électrique a la forme d'une parabole. Toutefois, dès que l'intensité du régime devient assez grande, ses ordonnées s'élèvent moins vite que celles de cette dernière courbe, comme le montre la fig. 2, où la

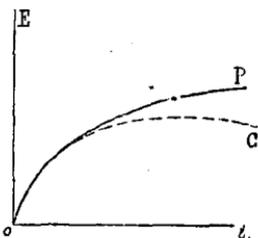


Fig. 2.

courbe en trait plein représente une parabole, et celle en traits pointillés une caractéristique. Cet effet est

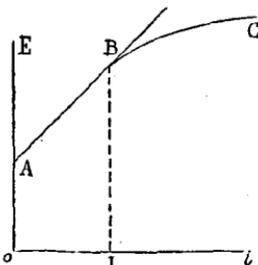


Fig. 3.

d'autant plus marqué que l'induit renferme plus de fer.

Les machines montées en couronne ont une caractéristique affectant la forme représentée sur la fig. 3

Elles ne jouissent réellement de leurs propriétés que pour les valeurs de I comprises entre o et oI , limites dans lesquelles la caractéristique peut être considérée comme se confondant sensiblement avec la tangente à l'origine AB . La limite oI sera d'autant plus éloignée que la masse de fer des inducteurs sera plus grande par rapport à celle du conducteur enroulé autour d'eux.

Enfin la caractéristique des machines magnéto-électriques présente la forme AC indiquée sur la fig. 4. On

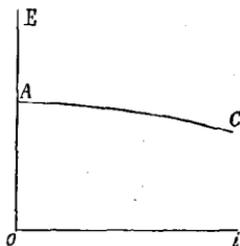


Fig. 4.

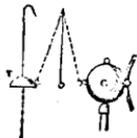
voit qu'elle s'abaisse d'une manière continue. Cela tient à ce que la puissance des inducteurs n'augmente pas avec l'intensité du courant, tandis que l'influence nuisible de l'aimantation de l'induit se fait sentir de plus en plus.

Si l'on compare les caractéristiques de différentes machines relevées à des vitesses telles que les forces d'inertie développées par la rotation soient les mêmes pour toutes ces machines, et si l'on établit les rapports des ordonnées correspondant à une même valeur de l'intensité du courant qui parcourt l'unité de section du conducteur au poids de chaque machine, chacun des nombres ainsi trouvés sera proportionnel à l'intensité du champ magnétique développé dans chaque machine par un courant d'intensité déterminée, et pourra servir à mesurer le mérite de la machine.

CARILLON ÉLECTRIQUE. — Le carillon électrique est un appareil imaginé pour mettre en jeu les actions de l'électricité. La boule C qui termine le conducteur d'une machine électrique est formée d'un métal sonore. En face est un

timbre T , communiquant avec le sol au moyen d'une chaîne. Entre le timbre et la boule on voit, suspendue par un fil de soie, une balle métallique. L'électricité de la machine, répandue sur la boule C , attire la petite balle, puis la repousse, dès qu'il y a eu contact. En même temps, l'électricité neutre du timbre T a été décomposée par influence,

et la petite balle, repoussée par la machine, se trouve attirée par le timbre, contre laquelle elle va se heurter. Là l'électricité du pendule passe au timbre et s'écoule dans le sol. Alors le pendule est de nouveau attiré par la machine, et ainsi de suite. En touchant ainsi alternativement le timbre et la machine, le pendule rend un son qui a valu à l'appareil le nom de *carillon électrique*.



A la place du timbre, que l'on mette une boule de métal, et, à la place de la petite baïe qui forme pendule, une *araignée* faite avec du liège légèrement brûlé, et l'on aura l'*araignée de Franklin*. A cause de l'imparfaite conductibilité du liège, l'*araignée* semble s'attacher pendant quelques instants à la boule électrisée qu'elle touche avant de revenir sur l'autre.

Carlisle (Anthony), chirurgien anglais qui vivait à la fin du XVIII^e siècle et au commencement du XIX^e. Ayant eu connaissance de la célèbre lettre, datée du 20 mars 1800, dans laquelle Volta annonçait à sir Joseph Banks, président de la Société royale de Londres, la découverte de la PILE, Carlisle s'empressa, dès le 20 avril de la même année, de construire cet *organe électrique artificiel* avec 17 couples formés de *demi-couronnes* (monnaie de la valeur de trois francs) et de disques de zinc, et séparés par des rondelles de carton imprégnées d'eau salée. Il s'adjoignit immédiatement le concours du physicien Nicholson, son ami, pour les expériences qu'il se proposait de faire concernant l'action de l'électromoteur sur l'économie animale.

Leur premier soin fut de reconnaître l'espèce d'électricité positive ou négative qui existait à l'extrémité de la colonne. Ils firent donc communiquer, à l'aide d'un fil de fer, chacune des extrémités de la pile avec le plateau d'un condensateur. L'expérience n'ayant pas donné de résultat satisfaisant, Nicholson soupçonna que le contact entre les fils de fer et les disques de la pile n'était pas assez parfait; il crut en assurer un meilleur en plaçant quelques gouttes d'eau sur le zinc et en y plongeant le bout du fil servant à réunir les deux pôles. Mais le circuit était si peine ainsi fermé, que des bulles de gaz excessivement fines apparurent dans l'eau près de l'extrémité du fil de fer. Nicholson et Carlisle devinrent que l'eau avait été décomposée, et résolurent de s'en assurer « en interrompant le circuit par l'introduction d'un tube plein d'eau entre les extrémités libres des deux fils ».

Cette expérience capitale fut exécutée le 2 mai 1800. Nicholson et Carlisle se servirent d'un tube de verre de 0^m,83 de longueur et de 0^m,015 de diamètre, rempli d'eau de source, et fermé par deux bouchons de liège traversés par des fils de cuivre rouge. Ils placèrent ce tube verticalement, relièrent le fil de cuivre inférieur avec le disque d'argent qui formait la base de la pile à colonne et le fil supérieur avec le disque de zinc du sommet, et approchèrent peu à peu l'une de l'autre les pointes des deux fils; lorsqu'elles ne furent plus distantes que d'environ 5 centimètres, une trainée de bulles très fines s'éleva de la pointe du fil inférieur communiquant avec le disque d'argent, tandis que la pointe opposée devenait terne, puis jaune orangé, puis noire. Le gaz dégagé était de l'hydrogène.

Carlisle ne poursuivit pas ces expériences. On n'a pas de détails biographiques sur lui.

CARNOT (Principe de). — On peut l'énoncer ainsi :
1^o Toutes les fois que, dans une machine transformant de la chaleur en travail, en faisant passer de la chaleur d'un corps froid sur un corps chaud, le cycle réalisé ou bien la série de changements d'état imposés au corps qui sert d'agent de transformation sera réversible, le rendement de la machine, c'est-à-dire le rapport de la quantité de travail fourni à la quantité de chaleur dépensée, sera indépendant de la nature du corps agent de transformation, et sera égal à $\frac{T - T_0}{T}$ en désignant par T et T₀ les températures absolues des sources de chaud et de froid.

2^o Le rendement $\frac{T - T_0}{T}$ est plus grand que celui qui correspondrait à un cycle quelconque non réversible.

M. Clausius a proposé d'admettre comme axiome qu'il était impossible de faire passer de la chaleur d'un corps froid sur un corps chaud sans dépenser du travail. Si l'on adopte ce nouveau principe, il est facile de démontrer que le principe de Carnot n'en est qu'une conséquence.

Le principe de Carnot a reçu quelques applications en électricité, que nous signalons plus loin.
En revenant aux traités de théorie mécanique de la chaleur, tels que ceux de MM. Hirn, Clausius, Zeuner, Moutier..., nous nous bornerons à donner l'expression mathématique du principe de Carnot.

Si l'on désigne par dQ la quantité de chaleur qu'un corps, subissant un *changement d'état réversible*, absorbe lorsque sa température absolue est T, ou à la condition

$$\int \frac{dQ}{T} = 0.$$

Conséquences du principe de Carnot. — L'état d'un corps peut toujours être défini en fonction de deux variables telles que son volume, sa pression, sa température, son énergie interne...

Désignons par A son énergie interne, T sa température, et x une autre variable quelconque. On pourra écrire

$$dA = adx + ldt.$$

Les coefficients a et l représentent : le premier, la chaleur latente relative à la variable x, le second la chaleur spécifique de ce corps.

Mais si le corps a subi un certain changement de forme, les forces extérieures auront développé une quantité de travail qu'on pourra représenter par ldx. Finalement, la variation des quantités x et T aura absorbé une quantité d'énergie

$$dE = (a + b) dx + ldt.$$

Si le corps après une série de changements d'état revient à son état primitif, le travail des forces extérieures sera nul, l'énergie interne aura repris la même valeur. On doit donc avoir $\int dE = 0$. On voit que l'expression de dE doit être une différentielle exacte, c'est-à-dire que l'on l'on doit avoir

$$\frac{d(a + b)}{dT} = \frac{dl}{dx}.$$

Cette condition n'est qu'une conséquence du principe de la conservation de l'énergie, mais s'applique à un cycle quelconque, réversible ou non.

Si le changement d'état est réversible, on peut lui appliquer le cycle de Carnot.

Comme nous l'avons vu, on aura

$$\int \frac{dA}{T} = 0,$$

c'est-à-dire

$$\int \left(\frac{a}{T} dx + \frac{l}{T} dT \right) = 0.$$

L'expression entre parenthèses devant être une différentielle exacte, on a la condition

$$\frac{da}{T} - \frac{a}{T^2} = \frac{dl}{dx}.$$

ou

$$\frac{a}{T} = - \frac{db}{dT}.$$

M. Thompson a déduit un grand nombre de conséquences de cette équation :

« 1° Si l'on opère à une température inférieure au rouge, mais assez élevée pour que le coefficient d'aimantation du fer soit décroissant, un morceau de fer doux doit s'échauffer quand on l'approche lentement d'un aimant et se refroidir si on l'éloigne.

« L'inverse aurait lieu aux températures ordinaires, si le coefficient d'aimantation, comme il est probable, croît avec la température.

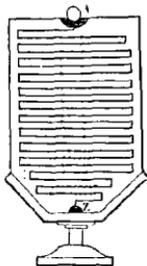
« 2° Le cobalt doit se comporter comme le fer : se refroidir quand on l'approche d'un aimant à la température ordinaire, et s'échauffer, au contraire, si l'on opère à une température supérieure à celle du maximum d'aimantation.

« 3° Pour le nickel, il n'y a pas de maximum d'aimantation : à toute température ce métal doit s'échauffer quand on l'approche d'un aimant, et se refroidir quand on l'éloigne.

« 4° Dans un champ magnétique, un cristal se refroidit quand son axe de plus grande induction magnétique, ou de plus petite induction diamagnétique, passe d'une direction parallèle à une direction perpendiculaire à celle du champ. » (Mascart et Joubert.)

On trouvera encore une application de ce principe à l'article TOURMALINE. (V. *Pyro-électricité*, dans l'article général ÉLECTRICITÉ.)

CARREAU ÉTINCELANT. — Cet appareil, qui fait l'ornement des salons scientifiques du siècle dernier, consiste en une surface de verre sur laquelle



on a collé de petites bandes de feuilles d'étain qui forment un ruban continu depuis une sphère supérieure A, que l'on fait communiquer avec une machine électrique, jusqu'à une autre boule Z, qui communique avec le sol. On a dessiné sur le carreau une figure quelconque; puis, avec une pointe de canif, on a enlevé toutes les parties des bandes d'étain qui se trouvent sur les contours du dessin. Quand l'électricité passe, chacune des coupures où se trouve une solution de continuité s'illumine par une ÉTINCELLE, et l'ensemble des points éclairés rend visible dans l'obscurité la figure dessinée.

CARTE MAGNÉTIQUE. — Carte donnant, pour certaines stations disséminées dans les différentes régions d'un pays la déclinaison, la composante horizontale de la force magnétique terrestre et l'inclinaison. (V. MAGÉTISME.)

CASSE-FIL ÉLECTRIQUE. — Appareil ayant pour but d'arrêter les métiers à broder lorsqu'un fil se casse. Il fonctionne de la façon suivante : des crochets à contrepoids sont suspendus sur les fils aux points où se produisent le plus souvent les ruptures (près des aiguilles mobiles); au-dessous sont disposés de petits anneaux en bois dont le fond est garni de deux lames de cuivre, placées côte à côte, mais sans se toucher. Ces lames sont reliées au circuit de l'embrayeur, de sorte que, quand un fil se casse et que le crochet tombe, la partie métallique

CARREAU ÉTINCELANT — CAVENDISH

servant de contrepoids ferme un circuit électrique au fond de l'aiguë correspondant, ce qui a pour effet de déclencher le mécanisme débrayeur et d'arrêter le métier tant qu'on n'a pas rattaché le fil.

Dans certains métiers le débrayeur est remplacé par une sonnerie électrique; le casse-fil devient alors un simple avertisseur.

CATHION (du grec *kathísmi*, descendre). — Nom général donné aux molécules d'un corps qui, dans un bain électrolytique, se portent au pôle négatif de la source électrique.

CATHODE (du gr. *kathodos*, descente). — Nom donné généralement à l'électrode négative dans un bain électrolytique.

CAUTÈRE CHIMIQUE. — Appareil servant à cautériser par l'action de l'électricité. (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE et GALVANO-CAUSTIQUE.)

CAUTÈRE GALVANIQUE ou **galvano-cautère.** — Appareil destiné à cautériser. (V. GALVANO-CAUTÈRE.)

CAUTÈRE THERMIQUE. — Appareil servant à cautériser par l'action de la chaleur développée par un courant électrique. (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE et GALVANO-CAUSTIQUE.)

CAUTÉRISATION GALVANIQUE. — Action de cautériser par l'électricité. (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.)

Cavendish (Henri), illustre physicien et chimiste anglais, né à Nice le 10 octobre 1731, mort à Londres le 24 février 1810. Il était le second fils de lord Charles Cavendish, duc de Devonshire. Comme tous les cadets de famille en Angleterre, il n'eut d'abord à sa disposition qu'un fort modeste patrimoine. Au lieu de briguer quelque sinécure ou de chercher dans la carrière des fonctions publiques un supplément à ses ressources, le jeune homme se livra à l'étude des sciences avec ardeur, avec passion, et ne tarda pas à faire des découvertes qui ont largement contribué aux progrès de la chimie moderne. Les écrits où il les expose sont autant de chefs-d'œuvre de sagacité et de méthode. Ses expériences sur l'air atmosphérique, dont il a donné la première analyse exacte, et dans lequel il a montré la présence du gaz acide carbonique; la découverte de la composition de l'eau et de l'acide nitrique; celle des propriétés du gaz hydrogène; la détermination de la densité moyenne du globe, etc., constituent des titres à une gloire scientifique des plus légitimes et des plus brillantes. Ce qu'on admire surtout dans Cavendish, c'est une précision exacte, rigoureuse, inflexible, dans toutes ses expériences, précision qui a eu pour avantage de le conduire à des découvertes qui avaient échappé à des savants de premier ordre, tels que Scheele et Priestley.

En 1773, un oncle de Cavendish, qui avait réalisé une immense fortune aux Indes, revint en Angleterre. Mécontent que la famille eût négligé son neveu, dont il avait reconnu le mérite, il en fit à sa mort son unique héritier. Cavendish, pourvu tout à coup de trois cent mille livres de rente, se trouva ainsi le plus riche de tous les savants. Mais il ne changea rien pour cela à la simplicité de ses habitudes. C'était un homme singulier, et savamment singulier. Parmi les nombreux problèmes qu'il avait résolus il mettait au premier rang celui de ne perdre ni une minute ni une parole; et il en avait trouvé en effet une solution si complète, qu'elle doit étonner les hommes les plus économes de temps et de

mots. Ses gens connaissaient à ses signes tout ce qu'il lui fallait, et comme il ne leur demandait presque rien, ce genre de dictionnaire n'était pas très étendu. Il n'avait jamais qu'un habit, que l'on renouvelait à des époques fixes, toujours avec du drap de même qualité et de même couleur. Enfin, on va jusqu'à dire que quand il montait à cheval il devait trouver ses bottes toujours au même endroit, et le fouet dans l'une des deux, toujours la même. Une occasion d'assister à quelques expériences nouvelles, ou de converser avec quelqu'un qui pût l'instruire ou qui eût besoin de ses instructions, était seule capable d'interrompre l'ordre établi; ou plutôt ce genre d'interruption, étant prévu, faisait lui-même partie de cet ordre. Alors Cavendish s'abandonnait tout entier au plaisir de causer, et sa conversation ne s'arrêtait point que tout ne fut éclairci. Dans tout le reste, son train de vie avait la régularité et la précision de ses expériences. Quand il fut devenu plusieurs fois millionnaire, on ne s'en aperçut qu'à quelques signes de plus, imaginés pour indiquer l'emploi que l'on devait faire de l'excédent de son revenu. Encore, pour obtenir ces nouveaux signes, fallait-il que son banquier le pressât à plusieurs reprises. Ce banquier l'avertit un jour qu'il avait laissé accumuler jusqu'à dix-huit cent mille francs, et que l'on ne pouvait plus sans honte garder une si forte somme en simple dépôt; ce qui prouve assurément autant de délicatesse d'un côté que d'insouciance de l'autre. Il arriva ainsi que, de signes en signes et de placements en placements, Cavendish finit par laisser trente millions. Cependant il s'était constamment montré généreux et bienfaisant. Il avait soutenu plusieurs jeunes gens qui annonçaient du talent; il avait créé une grande bibliothèque et un cabinet de physique très riche, et il les avait consacrés si complètement au public, qu'il ne s'était réservé aucun privilège, empruntant ses propres livres avec les mêmes formalités que les étrangers, et s'inscrivant comme eux sur le registre de la bibliothèque. Un jour, le gardien de ses instruments de physique vint lui dire avec humeur qu'un jeune homme avait cassé une machine très précieuse et qui avait coûté très cher. « Il faut, répondit-il, que les jeunes gens cassent des machines pour apprendre à s'en servir; faites-en faire une autre. »

La vie réglée de Cavendish lui a donné des jours longs et exempts d'infirmilités. Jusqu'à la fin de sa vie, il a conservé l'agilité de son corps et la force de son génie; il dut probablement à la réserve de ses manières, au ton modeste et simple de ses écrits, cet autre avantage non moins grand, celui dont les hommes de génie jouissent le plus rarement, que jamais la jalousie ni la critique ne troublèrent son repos. Comme Newton, son grand compatriote, il est mort plein de jours et de gloire, chéri de ses émules, respecté de la généralité qu'il avait instruite, célébré dans l'Europe savante, offrant à la fois au monde le modèle accompli de ce que tous les savants devraient être, et l'exemple touchant du bonheur qu'ils devraient avoir en partage. Il mourut à Clapham-Common, près de Londres, à l'âge de soixante-dix-neuf ans. Cavendish était membre de la Société royale de Londres depuis 1760 et de l'Académie des Sciences de Paris depuis 1802. Tous ses écrits ont été insérés dans les *Transactions philosophiques*.

La plus célèbre des expériences de Cavendish est celle par laquelle il détermina la densité du globe terrestre. L'idée ne lui en appartenait pas, elle est due à Mitchell, aussi bien que l'appareil même dont Cavendish fit usage. Cet appareil se composait essentiellement d'un levier horizontal à bras égaux, suspendu par son milieu à l'extrémité d'un fil métal-

lique sans torsion, et terminé à ses deux bouts par de petites balles en plomb, de même masse, qui pouvaient être écartées de leur position naturelle d'équilibre par l'attraction combinée de deux sphères massives, pesant chacune 158 kilogrammes, qui, portées par une règle tournant autour de son milieu, situé dans le prolongement du fil, à une très petite distance de son extrémité, étaient amenées près des deux petites sphères mobiles; l'appareil était enfermé dans une chambre où l'on n'entrât pas pendant l'expérience, les déviations du levier s'observant du dehors au moyen de lunettes fixes munies de réticules dont les lignes de visée, lors de l'équilibre naturel du levier, aboutissaient aux divisions 0 d'arcs en ivoire fixés aux deux petites balles, tandis qu'elles pouvaient tomber sur les autres divisions lorsque le levier était dérangé de sa position primitive. Lorsque les grosses sphères étaient approchées des petites, l'équilibre s'établissait entre la force attractive exercée par elles et la réaction du fil. Cette réaction, proportionnelle à l'angle d'écart, se réduisait en définitive à un couple de forces appliquées aux deux petites balles et qui devaient être égales et directement opposées aux attractions exercées sur elles par les deux grosses sphères, placées sur le cercle qu'elles pouvaient décrire. Chacune des forces du couple représentait la réaction du fil ayant été préalablement déterminée, conformément à la théorie de la BALANCE DE TORSION, au moyen de la durée d'une oscillation du levier, non influencé par les grosses boules, que l'on plaçait momentanément aux extrémités du diamètre perpendiculaire à celui dans la direction duquel s'établissait l'équilibre naturel. Dans la machine employée par Cavendish, ces forces étaient représentées par

$$\frac{1}{818} \frac{p n}{l^2}$$

p désignant le poids d'une des petites balles, l le temps d'une oscillation, compté en minutes, et n le nombre des divisions des deux arcs en ivoire qui mesureraient l'amplitude d'une oscillation. D'un autre côté, d désignant la distance des centres d'une des grosses sphères et de la petite balle voisine, f l'attraction à l'unité de distance de deux masses égales à l'unité, et P le poids d'une des grosses sphères, l'attraction qui équilibrerait la réaction du fil était

$$\frac{f P p}{\rho^2 d^2}$$

par conséquent, n désignant le nombre des divisions qui mesureraient l'écart, on avait pour déterminer f la relation

$$\frac{f P p}{\rho^2 d^2} = \frac{1}{818} \frac{n}{l^2}$$

d'où

$$f = \frac{1}{818} \frac{\rho^2 l^2 n}{P p}$$

Cette même force f , en désignant par Q le poids de la terre et par R son rayon, devait d'ailleurs être donnée par la relation

$$\frac{f R Q}{\rho^2 R^2} = P, \text{ d'où } f = \frac{\rho^2 R^2}{Q} P.$$

On avait donc pour déterminer Q l'équation

$$\frac{\rho^2 R^2}{Q} P = \frac{1}{818} \frac{\rho^2 l^2 n}{P p}$$

d'où l'on tire

$$Q = 818 \frac{R^2 l^2}{d^2 n} P.$$

En désignant par D la densité moyenne de la terre, le poids Q serait représenté par

$$Q = \frac{4}{3} \pi R^3 D;$$

D devait donc être donné par l'équation

$$D = \frac{3 \times 818 \frac{2}{3} 1}{4\pi R^3} P.$$

Cavendish a successivement employé deux fils oscillant en des temps très différents, et il a trouvé dans les deux cas 5,48 pour la densité moyenne de la terre comparée à l'eau. Depuis Cavendish, les mêmes expériences ont été reprises, d'abord par M. Reich, qui a retrouvé à peu près le même résultat, ensuite par M. Baily, qui obtint pour moyenne d'un grand nombre d'expériences $D = 5,67$.

CERCLE DE BARROW. — Instrument servant à mesurer la composante verticale de la force magnétique de la terre. (V. MAGNÉTOMÈTRE.)

CERF-VOLANT ÉLECTRIQUE. — Cerf-volant muni d'une pointe et d'un fil métalliques avec lequel on peut faire des expériences sur l'électricité des nuages. C'est avec un cerf-volant ainsi construit que Franklin parvint le premier à enlever aux nuages leur électricité. (V. ÉLECTRICITÉ.)

CHAÎNE GALVANIQUE. — Disposition particulière donnée par Pulvernacher à la PILE de Volta pour les applications médicales. La chaîne se compose d'une série d'éléments formés chacun de deux fils de cuivre et de zinc enroulés sur un cylindre de bois dans des rainures hélicoïdales parallèles afin d'éviter que ces fils se touchent. Les extrémités du fil de zinc communiquent par une articulation avec les extrémités du fil de cuivre du couple suivant et les fils libres des couples extrêmes sont reliés à des poignées conductrices servant d'ÉLECTRODES. On a ainsi une chaîne flexible que l'on plonge dans de l'eau vinaigrée lorsqu'on veut s'en servir.

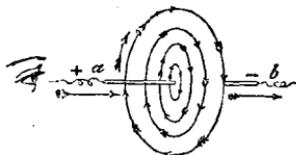
CHAINETTE ÉLECTRO-DYNAMIQUE. — Nom donné par M. Riou à la courbe formée par un fil flexible sans pesanteur parcouru par un COURANT et placé dans un CHAMP MAGNÉTIQUE. Quand ce champ est uniforme et lorsque les extrémités fixes du fil sont sur une droite perpendiculaire aux LIGNES DE FORCE du champ magnétique, le fil prend la forme d'un arc de circonférence.

CHALEUR VOLTAÏQUE. — Chaleur qui se développe dans un circuit parcouru par un COURANT. La loi de Joule permet de calculer cette quantité de chaleur. (V. LOIS ÉLECTRIQUES.)

CHAMP ÉLECTRIQUE. — On désigne sous le nom de champ électrique ou champ galvanique l'espace entourant un conducteur *ab* traversé par un courant. Cet espace est caractérisé par la présence de LIGNES DE FORCE affectant la forme de cercles concentriques au courant, et dont le nombre est proportionnel à l'intensité de ce courant. Ces lignes de force sont situées dans des plans perpendiculaires à la portion du courant considérée *ab* et dirigées dans le sens de la marche des aiguilles d'un montre pour tout observateur qui regarde le plan des lignes de force du côté où entre le courant.

Les lignes de force d'un champ galvanique jouis-

sent des mêmes propriétés que les lignes de force d'un champ magnétique. On peut expliquer par leur considération, aussi bien que par les lois d'Ampère,



les actions des courants sur eux-mêmes ou sur les aimants. (V. *Champ magnétique* et *Lignes de force*, à l'article AIMANT.)

CHAMP GALVANIQUE. — Synonyme de CHAMP ÉLECTRIQUE.

CHAMP MAGNÉTIQUE. — De la constitution réelle d'un champ magnétique. (*Lignes de force*). — Nous avons, à l'article AIMANT, supposé que les choses se passaient comme si la force qui s'exerce entre deux masses magnétiques était réellement une force centrale simplement fonction de la distance.

Quand on considère un système magnétique arrivé à l'état permanent, les forces ne sont effectivement plus fonction que de la distance; la considération des surfaces de niveau s'impose dès lors, et la ligne de force n'est plus qu'une simple conception mathématique: l'orthogonale aux surfaces de niveau.

Or, Maxwell a démontré que toute perturbation apportée en un point d'un système magnétique (V. *Théorie électro-magnétique de la lumière*) ne produisait pas d'effet instantané sur l'état magnétique d'un autre point du système, mais que son action se propageait successivement avec une vitesse égale à celle de la lumière.

Il est désormais nécessaire d'admettre que les forces magnétiques ne sont pas des forces centrales, et qu'elles sont déterminées par l'état d'agitation d'un milieu spécial, si bien que les mouvements que nous pouvons constater dans un système magnétique abandonné à lui-même ne doivent plus être attribués à des forces attractives ou répulsives proprement dites, mais à des différences de pression exercées sur la surface des substances magnétiques par ce milieu spécial.

Quant à ce milieu, l'expérience démontre qu'il doit avoir la même élasticité que l'éther lumineux; il est donc extrêmement probable qu'il doit être identifié avec lui. Une autre hypothèse serait contraire, d'ailleurs, à tout esprit philosophique.

Il était du plus haut intérêt de chercher quel devait être l'état du mouvement de l'éther renfermé dans un champ magnétique, de même qu'on l'avait fait pour l'éther traversé par des rayons lumineux.

Or, on sait qu'un rayon lumineux est constitué par un mouvement vibratoire de l'éther suivant une direction normale au rayon lumineux, et que cette direction varie périodiquement dans un même plan perpendiculaire au rayon lorsque le rayon est polarisé.

Dans le cas de la polarisation circulaire, la grandeur de l'oscillation reste constante, mais si l'on considère le plan passant par le rayon et dans lequel elle s'effectue à chaque instant, ce plan tourne autour du

rayon et effectue une révolution complète dans chaque période.

Lorsqu'un rayon polarisé circulairement traverse un champ magnétique suivant la direction d'une ligne de force, sa vitesse de propagation est modifiée ; on en doit conclure qu'il existe dans le milieu quelque mouvement rotatoire dont l'axe est parallèle à la direction des forces magnétiques. Telles sont les considérations, basées sur l'expérience directe, qui ont amené Maxwell à la conception suivante :

La ligne de force, que nous avons regardée jusqu'ici comme une simple abstraction mathématique, n, au contraire, une signification physique réelle : c'est un axe autour duquel tourbillonnent les molécules de l'éther environnant.

Or, le nombre de molécules participant au mouvement tourbillonnaire qui constitue la ligne de force a pour limite minima, si nous ne considérons pas la matière comme divisible à l'infini, le nombre des molécules situées sur l'axe même.

Si l'on admet, de plus, comme dans la théorie de la lumière, que la constitution de l'éther est modifiée par la nature des corps matériels qui le renferment, on arrive aux deux conclusions suivantes :

Le nombre de lignes de force qui peuvent traverser normalement l'unité de surface située dans un milieu matériel quelconque a une limite maxima.

Cette limite est variable avec la nature de ce milieu. Elle est proportionnelle à la densité de ce milieu.

On désigne d'habitude la propriété que possède un corps matériel de renfermer de l'éther à un état de densité plus ou moins grand, *perméabilité magnétique*.

Remarquons maintenant que si l'on déplace un conducteur dans un champ magnétique uniforme normalement à sa propre direction et à celle de la force, la force électromotrice produite est proportionnelle à la vitesse de translation, c'est-à-dire au nombre de lignes de force coupées pendant l'unité de temps.

Il en résulte que la force électromotrice déterminée par la traversée d'un champ magnétique d'intensité 1 avec une vitesse 2 est la même que celle produite par la traversée d'un champ magnétique d'intensité 2 avec une vitesse 1.

On en conclut que l'intensité d'un champ magnétique est proportionnelle au nombre de lignes de force qui traversent l'unité de surface située en un de ses points normalement à la direction de ces lignes.

Rien ne révélant l'action du nombre de molécules en mouvement dans un plan normal à la ligne de force en un de ses points, on est conduit à admettre que seule la molécule située sur la ligne de force participe au mouvement de rotation.

Maxwell a été conduit en définitive à définir ainsi un champ magnétique :

« Tout milieu capable de transmettre la force magnétique se compose d'un nombre très grand de petits corps sphériques ou cellules susceptibles de tourner, lesquels, sous l'influence de la force magnétique, prennent, autour des lignes de force comme axes, un mouvement de rotation dont la vitesse et le sens dépendent de l'intensité et du sens de la force.

« Un champ magnétique est dit « uniforme », lorsque toutes les lignes de force, axes des mouvements tourbillonnaires, sont parallèles et équidistantes.

« L'intensité d'un champ magnétique uniforme est proportionnelle au nombre de lignes de force qui coupent normalement l'unité de surface située en un point quelconque du champ.

« L'intensité d'un champ quelconque en un point est celle du champ uniforme dont les lignes de force se

raient situées aux mêmes distances les unes des autres que les lignes de force coupant normalement un élément de surface situé autour du point considéré, assez petit pour que les lignes de force qui le coupent soient parallèles et équidistantes. »

Les principales propriétés des lignes de force peuvent se déduire aisément de la définition que nous venons d'en donner.

Considérons chacune d'elles, en effet, comme un fil élastique dont la substance tourne autour de son axe, par suite de la force centrifuge développée par la rotation, ce fil tendra à se gonfler en se raccourcissant.

D'un autre côté, la pression exercée par la substance du fil sur le milieu ambiant croîtra avec la vitesse de rotation.

On en conclut que :

Les lignes de force d'un champ magnétique tendent à se raccourcir, mais se repoussent mutuellement.

Enfin, plus le milieu où se développent les lignes de force est doué de perméabilité magnétique, c'est-à-dire plus la densité de l'éther qu'il renferme est grande, moins grande doit être la tension déterminée le long de son axe par le mouvement tourbillonnaire. On arrive ainsi à cette conclusion :

Bien qu'une ligne de force tende toujours à se raccourcir, elle cherchera à se développer de préférence dans les milieux les plus perméables, quitte à s'allonger dans une certaine mesure.

Toutes ces propriétés sont facilement démontrées par la simple inspection d'un FANTÔME MAGNÉTIQUE.

Il nous resterait à donner une méthode permettant de déterminer *a priori* les diverses parties d'un système magnétique, de telle façon qu'on puisse obtenir un champ magnétique occupant un espace donné et ayant une intensité voulue.

Ce problème acquiert une importance toute particulière dans l'étude des machines dynamo-électriques ; aussi avons-nous cru devoir reporter à l'article MACHINES DYNAMO-ELECTRIQUES l'exposé des quelques notions que nous possédons sur ce sujet.

CHARBON A LUMIÈRE. — Ce fut Foucault qui permit à l'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE d'entrer dans le domaine industriel, lorsqu'il eut l'idée de substituer des tiges de charbon de corne aux baguettes de charbon de bois employées par Davy. Celles-ci, en effet, s'usaient si rapidement qu'elles ne pouvaient servir qu'à des expériences de cabinet. Mais l'usage du charbon de corne entraînait encore de graves inconvénients.

Les qualités qu'on doit demander à un charbon à lumière sont multiples et peuvent être ainsi énumérées :

1° Il doit être parfaitement homogène, sans quoi chaque variation dans la nature du brûleur déterminerait une variation correspondante dans la quantité ou la qualité de la lumière émise.

2° Il doit être aussi dense que possible, car il est évident que plus il y aura de matière sous un volume déterminé, moins grande sera la surface de contact des parties incandescentes avec l'air ambiant, et plus on gagnera en durée. D'un autre côté, on sait avec quelle facilité les corps poreux absorbent les gaz : l'air dilaté s'échappe des pores du charbon en le désagrégeant. La conductibilité augmente aussi avec la densité.

3° Il doit être composé, autant que possible, de carbone pur. C'est, du moins, une bonne condition au point de vue du rendement lumineux ; car il semble à peu près démontré que plus un corps est réfractaire, plus la force contre-électromotrice, développée par l'arc qui passe dans sa vapeur, est grande.

4° Il doit être apte à recevoir une forme déterminée, suivant les dispositions de l'appareil qui doit l'utiliser. Dans les lampes à arc et incandescence de Werdermann et de Heynier, en particulier, où le charbon doit progresser, d'une manière continue, entre les deux mâchoires d'un étai, il est absolument nécessaire que sa surface soit cylindrique.

Il était bien difficile de trouver toutes ces conditions réunies dans les produits déposés sur les parois des cornues à gaz. Les charbons qu'on y taillait renfermaient toujours une partie des impuretés contenues primitivement dans la houille. Il fallait choisir parmi les fragments qu'on avait à sa disposition, et de plus, la taille était une opération délicate, entraînant beaucoup de déchets, si bien qu'il semble qu'on n'aurait guère pu arriver ainsi à une grande fabrication industrielle, telle qu'on la conçoit aujourd'hui.

Il était donc naturel qu'on cherchât à se procurer, par d'autres procédés plus pratiques et plus sûrs, des charbons qui, tout en possédant la grande densité des charbons de cornue, fussent doués des autres propriétés que nous avons énumérées plus haut.

Trois méthodes se sont présentées à l'esprit des inventeurs :

1° Certains ont cherché à obtenir directement des blocs de matière convenable et à tailler les charbons dedans. Parmi ceux-ci, on doit citer Foucault, puis M. Jacquelin, qui se procura des blocs plus sains que ceux recueillis dans les cornues à gaz, en décomposant sur des parois incandescentes des hydrocarbures qui avaient subi une première distillation et se trouvaient ainsi débarrassés de toutes impuretés. Il eut par ce moyen des plaques qui, débitées à la scie, ont fourni des charbons d'excellente qualité. Mais la main-d'œuvre était trop coûteuse et empêcha ce procédé de devenir industriel.

2° D'autres, tels que MM. Watson et Slater, en 1852, Lacassagne et Thiers en 1857, Peyret, etc., ont suivi une autre méthode : ils constituaient une sorte de carcasse charbonneuse dont ils remplissaient les pores avec un hydrocarbure liquide qu'ils décomposaient ensuite par une forte élévation de température. La première condition à obtenir était que la carcasse ne contînt pas d'impuretés.

MM. Watson et Slater prenaient un morceau de charbon de hêtre ou de buis débité à la dimension voulue. Ils le plougeaient dans la chaux vive qui le desséchait, le portaient au rouge blanc et arrivaient ainsi à détruire toute trace de matière organique. Pour remplir les pores, ils trempaient les tiges encore chaudes dans de la mélasse et les carbonisaient à nouveau.

MM. Lacassagne et Thiers prenaient des bagnes de charbon de cornue qu'ils plougeaient dans de la soude caustique fondue. Les silicates, transformés en verres solubles, étaient éliminés par un lavage à l'eau chaude, puis un courant de chlore donnant des chlorures volatils faisait disparaître les dernières impuretés.

M. Peyret formait la carcasse charbonneuse avec de la moelle de sureau et employait comme remplissage une dissolution de sucre qu'il décomposait à l'aide de la chaleur.

3° Enfin d'autres, tels que MM. Staitte en 1846, Lemolt en 1849, Currier, Archereau, Carré, Gauduin et Napoli, ont adopté la troisième méthode.

Tous forment un mélange intime de matières carbonisées solides et d'un mortier liquide agglomérant. Ils lui donnent ensuite la forme voulue en le soumettant à l'action d'une filière, puis le dessèchent à haute température.

Les pores, développés par le départ des composés

volatils, sont remplis par une nouvelle addition de carbure liquide : le charbon est à nouveau porté au rouge.

M. Staitte prenait comme matière solide du coke pulvérisé et pour mortier une dissolution de sucre.

M. Lemolt prenait un mélange de 2 parties de charbon de bois aggloméré par 1 partie de goudron liquide. Son mélange pouvant contenir des impuretés, il purifiait son charbon par une immersion dans les acides.

M. Currier employait comme solide du noir de fumée, et comme agglomérant de la benzine et de l'essence de térébenthine. Il nourrissait ensuite ses charbons avec des matières résineuses ou sucrées.

MM. Archereau, Carré et Gauduin, dont les procédés sont l'objet d'exploitations importantes, ont de plus abordé la question du mélange au carbone de certains corps étrangers (oxydes ou sels métalliques). On conçoit, en effet, qu'il peut y avoir certains avantages :

1° A introduire dans l'arc voltaïque certains oxydes fixes tels que la magnésie, les particules incandescentes emmagasinant une certaine quantité de chaleur à haute température qui peut servir de volant lumineux ;

2° A introduire des bases qui, se combinant aux impuretés les plus communes, telles que la silice, donnent des verres fusibles sous l'influence de la chaleur, et les éliminent avant qu'elles soient atteintes par le foyer lumineux ;

3° A introduire certains sels qui colorent l'arc directement lorsqu'il en est besoin, au lieu d'employer des verres de couleur qui absorbent beaucoup de lumière ;

4° A introduire certains sels qui se décomposent sous l'influence électrolytique du courant, et qui, tels que le phosphate de chaux ou de magnésie, donnent un métal au pôle négatif, pouvant brûler à l'air avec une lumière intense.

Mais tous ces avantages sont encore hypothétiques, et l'expérience semble avoir décliné en faveur des charbons constitués en carbone chimiquement pur. Jusqu'à présent, les charbons réputés les meilleurs ont été ceux de MM. Carré et Gauduin. (M. Fontaine a donné dans son ouvrage sur l'*éclairage électrique* des détails complets sur leur fabrication.) Nous renvoyons aussi à la *Lumière électrique* (année 1881), où M. Maurice Lehmann a décrit avec grand détail le mode de fabrication des charbons Napoli.

CHARGE ÉLECTRIQUE. — On désigne sous ce nom la charge d'un condensateur ; elle est égale au produit de la capacité du condensateur par le potentiel de la source d'électricité qui sert à le charger. En désignant la charge par Q , le potentiel par E et la capacité par C , on a : $Q = C \times E$.

CHARGE RÉSIDUELLE. — Si, après avoir déchargé une bouteille de Leyde, on l'abandonne quelque temps à elle-même, on trouve qu'elle a repris une faible charge ; c'est ce qu'on nomme la charge résiduelle.

On constate que, quelle qu'ait été la durée de la charge, la différence entre la charge totale et la charge résiduelle est constante et égale à la charge instantanée.

Maxwell a démontré qu'un condensateur formé d'un diélectrique homogène ne donne pas lieu à charge résiduelle, mais que si le diélectrique est composé de couches de substances différentes, ce phénomène doit se manifester.

L'expérience fait voir d'autre part qu'un diélec-

trique n'absorbe pas d'électricité. Le phénomène de la charge résiduelle ne peut donc s'expliquer qu'en admettant :

1° Que pendant la charge le diélectrique subit une certaine modification moléculaire ;

2° Que l'effet d'un changement dans l'état moléculaire d'un diélectrique est d'induire une charge sur tout conducteur situé dans son voisinage.

L'expérience montre que toute agitation mécanique des molécules du diélectrique d'un condensateur quelconque hâte l'apparition de la charge résiduelle.

CHARIOT. — Organe du transmetteur de l'appareil télégraphique imprimeur de Hughes. (V. TÉLÉGRAPHE.)

CHATTERTON (Composition). — Composition isolante employée par M. Chatterton dans la construction des CABLES sous-marins ; c'est un mélange de gutta-percha, de goudron de Norvège et de résine.

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE DES WAGONS. — Procédé imaginé par M. Courcelles pour chauffer à l'aide d'un courant électrique les compartiments de chemins de fer. L'inventeur emploie des chauffe-rettes ayant extérieurement la même forme que les bouillottes à eau chaude, et contenant une série de petites lames de cuivre de 0^m.06 à 0^m.07 de longueur et de 0^m.02 de largeur. Ces lames sont placées perpendiculairement à l'axe longitudinal de la chaufferette, à une distance de 0^m.03 les unes des autres. Deux fils de fer de 6^m.001 de diamètre environ sont disposés parallèlement à l'axe longitudinal de la chaufferette et s'appuient sur les lames de cuivre. Enfin, d'autres lames en étain ou mieux en plomb sont placées au-dessus des lames de cuivre et rivées avec ces dernières de façon à serrer les fils de fer longitudinaux. Si on fait passer dans ces fils un courant électrique fourni par une machine dynamo-électrique à courants alternatifs, on les chauffe et la chaleur se transmet aux plaques. Ces plaques peuvent ainsi être facilement portées à une température de 85° centigrades.

CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE. — Chemin de fer dans lequel la traction des véhicules est effectuée électriquement. (V. LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES et TRACTION ÉLECTRIQUE.)

CHERCHE-BALLE ou sonde électrique (v. ce mot). — Appareil employé pour déceler la présence d'une balle dans le corps humain.

CHERCHEUR. — Nom donné par M. Baudot à un organe de son télégraphe imprimeur. (V. TÉLÉGRAPHE.)

CHERCHEUR DE FUITES. — En se basant sur la propriété calorifique du platine, M. Arnould a imaginé un appareil auquel il a donné le nom de **chercheur de fuites**. C'est simplement l'ALLUMON électrique de son système, auquel il a ajouté des résistances pour diminuer ou augmenter l'incandescence de la spirale de platine (fig. 1, 2 et 3).

Au moyen des résistances E, D (fig. 4), on règle la température du platine, que l'on porte ordinairement au rouge sombre. Dans cet état, on promène le chercheur le long de la conduite où l'on soupçonne la fuite ; celle dernière est immédiatement signalée par la spirale qui devient incandescente ; pour éviter l'inflammation qui pourrait être la cause de catastrophe, l'extrémité du chercheur est entourée d'une tôle métallique.

Pour le cas où l'on serait exposé à ne pas apercevoir le fil de platine incandescent, par exemple si l'on cherche une fuite en plein jour, M. Arnould a ajouté à son appareil une sonnerie tremblante. A cet effet, la spirale de platine D (fig. 5) est recouverte d'une lame A composée de plusieurs métaux juxtaposés. Sous l'influence de la chaleur, cette lame se dilate et vient buter contre le contact B ; aussitôt, il s'établit un courant de dérivation par le fil F, et la sonnerie G

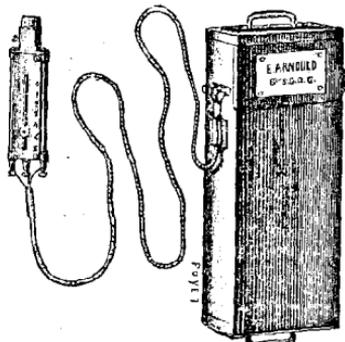


Fig. 1. — Chercheur de fuites (système Arnould).

tinte. On peut avec cet appareil constater la présence des fuites les plus minimes.



Fig. 2.

Autre forme du Chercheur de fuites.

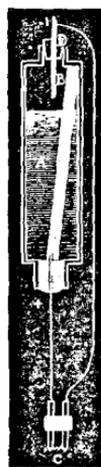


Fig. 3.

Coupe longitudinale de la spirale à renversement.

CHERCHEUR SOUS-MARIN. — Appareil imaginé par le capitaine Mac Evoy pour la recherche des bouilles, ancras, chaînes, etc., et généralement des ob-

jets métalliques submergés. Cet appareil est une application de la BALANCE D'INDUCTION de Hughes.



Fig. 4.

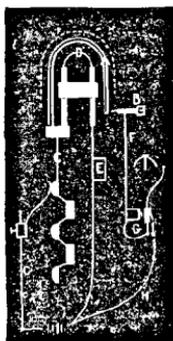


Fig. 5.

CHOC EN RETOUR. — Effets de la foudre produits en un lieu éloigné de celui qui a été frappé directement. On peut les expliquer par le retour brusque à l'état naturel des corps électrisés par influence.

CHRONOGRAPHE. — Appareil enregistrant d'une façon directe et continue les diverses phases de phénomènes généralement très rapides et qui permet de déterminer ainsi la loi qui les relie à la notion du temps. (V. CHRONOGRAPHIE.)

CHRONOGRAPHIE ÉLECTRIQUE. — On désigne ainsi l'ensemble des méthodes qui permettent d'évaluer très exactement le temps, souvent inappréciable par l'usage direct de nos sens, et de déterminer avec précision les instants auxquels se produisent les diverses phases de phénomènes généralement très rapides; méthodes dans lesquelles l'électricité joue un rôle important.

Les premiers essais dans cette voie sont dus à Wheatstone, qui a construit des appareils chronométriques, dits *chronoscopes*, sur lesquels on peut pointer électriquement le millième de seconde. Mais ces appareils, donnant des indications fugitives, ne pouvaient remplir le même but que ceux qui enregistrent directement des indications continues et qui constituent les *chronographes* proprement dits.

Les chronographes peuvent affecter plusieurs formes :

1° Le pointage électrique des diverses phases du phénomène s'effectue sur un cylindre enregistreur animé d'un mouvement de rotation uniforme; la mesure du temps résulte alors de celle des arcs compris sur ce cylindre, dont la vitesse est connue. Un mouvement relatif de translation longitudinale entre le cylindre enregistreur et l'ensemble des styles assure, par l'inscription en hélice, une durée convenable au fonctionnement de l'appareil.

2° On ne s'attache plus à réaliser rigoureusement l'uniformité du mouvement du cylindre, mais on enregistre parallèlement sur sa surface les divisions du temps, signalées électriquement par un appareil chronométrique, et les différentes phases du phénomène à observer. Cette seconde méthode chronographique est généralement usitée, parce qu'elle per-

met l'emploi, pour l'enregistrement, des dispositions les plus diverses et les mieux appropriées aux usages spéciaux que l'on a en vue : inscription sur une bande télégraphique Morse, sur un plateau circulaire, sur un tableau noir manœuvré à la main ou mis en mouvement par le phénomène que l'on veut étudier. La mesure du temps peut d'ailleurs être donnée par un mouvement non uniforme, mais dont la loi est connue.

Il existe des types extrêmement variés de chronographes électriques.

MM. Lissajous et le capitaine Schultz ont imaginé un chronographe à induction dans lequel un diapason, entrete nu en vibration par une action électrique, donne l'inscription continue des divisions du temps en sinusoides plus ou moins serrées sur un cylindre enregistreur.

Cet instrument, appelé *électro-diapason*, a pris une forme pratique et industrielle. Dans tous les types connus, le diapason forme l'armature de l'électro-aimant. L'une de ses branches porte la plume ou le style enregistreur, l'autre le ressort interrupteur. L'électro-aimant peut être double (système Lissajous, système Marcel Deprez), il réagit alors extérieurement sur les deux branches du diapason; ou simple (système Mercadier, adopté par MM. Bréguet et Duboscq), et dans ce cas il prend place entre les deux branches du diapason.

Le même appareil d'entretien peut s'appliquer à des diapasons différents moyennant une légère modification de la pile, comme l'a montré M. Mercadier. D'autre part, l'entretien du mouvement d'une lame vibrante ou d'un diapason n'exige pas que l'action électrique s'effectue à chaque période. En ne réalisant cette action que toutes les deux, trois, quatre ou cinq périodes, on peut obtenir une subdivision de plus en plus grande du temps. C'est le procédé employé par M. Cornu dans ses belles expériences sur la vitesse de la lumière, pour inscrire le dixième de seconde en même temps que la seconde sur le cylindre enregistreur.

Les organes sensibles de l'enregistrement électrique sont généralement des électro-aimants; cependant, M. Glönsener a proposé des enregistreurs galvanométriques, et MM. Siemens et Halske avaient exposé en 1881 des chronographes à étincelles.

Dans l'étude des phénomènes très rapides, l'emploi des électro-aimants entraîne, dans le résultat définitif, la trace de la plume, des retards, dus à l'aimantation progressive ou au magnétisme résiduel, qui peuvent vicier les résultats différentiels très petits qui font l'objet des recherches chronographiques et limiter au-dessous du nécessaire le nombre des signaux que peut fournir par seconde un même organe enregistreur. On emploie alors, pour chaque phase du phénomène observé, un circuit spécial et un électro-aimant à simple déclenchement ne pouvant fournir qu'un signal.

M. Deprez a eu recours à cette solution dans des appareils qui ont permis à M. le colonel Schert d'étudier les problèmes les plus délicats de la balistique intérieure. M. Marcel Deprez a imaginé de nombreuses dispositions pour approprier les électro-aimants à divers services spéciaux d'enregistrement rapide, qu'il serait trop long d'indiquer ici, même sommairement.

M. Marey, dans ses recherches physiologiques, a eu recours à une disposition particulière, qu'il a caractérisée sous le nom de *rhéographe*, et qui a pour objet de faire varier l'amplitude des indications du style avec l'intensité variable du courant d'observation. Il a pu ainsi traduire en courbes d'amplitudes décrois-

santes les flux successifs de la décharge prolongée d'un poisson-torpille.

Les physiciens et les astronomes ont été les premiers à faire usage des méthodes de la chronographie électrique, aux progrès de laquelle ils ont largement contribué.

Nous citerons les beaux appareils de M. Lœwy, pour la détermination des longitudes; de M. Cornu, pour celle de la vitesse de la lumière; de M. Wolf, pour la détermination des équations personnelles dans les observations de passages des astres.

La physiologie expérimentale fait aujourd'hui le plus large usage des méthodes graphiques, et la chronographie électrique y a sa place marquée. Nous citerons, dans cet ordre d'idées, les appareils de M. Marcy.

La balistique est une des sciences appliquées qui portent sur l'étude attentive des phénomènes les plus rapides et pour lesquelles la chronographie doit atteindre son plus haut degré de précision. Aussi toutes les méthodes chronographiques à indications rapides sont-elles susceptibles d'application aux problèmes balistiques. Les méthodes électriques ont permis d'introduire une précision notable dans les évaluations des temps très courts à considérer dans l'étude de la vitesse des projectiles, de la loi de leur mouvement, du recul des canons. MM. le colonel Sebert et Marcel Deprez ont fait à ce sujet des travaux remarquables.

Enfin, M. Bontemps, ingénieur des télégraphes, a combiné un ingénieux appareil pour la recherche des dérangements et obstructions dans les tubes du réseau de la TÉLÉGRAPHIE PNEUMATIQUE de Paris. (*Rapports du jury de l'Exposition de 1881.*)

CHRONOPHORE (du grec *chronos*, temps, et *pherô*, je porte). — Appareil imaginé par M. Silas pour donner un signal à une heure déterminée. Il se compose essentiellement d'une pendule dont le cadran est armé d'une série de petites fiches. Les aiguilles sont isolées électriquement et communiquent seulement avec le pôle d'une pile. Le massif communique avec l'autre pôle de la pile par l'intermédiaire d'une petite sonnerie tremblante. Si on veut obtenir un signal à une heure donnée, on enfonce la fiche correspondante, et l'aiguille, en passant en face de cette heure, rencontre la fiche, ferme le circuit de la pile et fait tinter ainsi la sonnerie.

CHRONOSCOPE (du grec *chronos*, temps, et *scopos*, je vois). — Appareil sur lequel on peut pointer électriquement le millième de seconde par une aiguille à mouvement rapide. (V. CHRONOGRAPHIE ÉLECTRIQUE.)

CHUTE ÉLECTRIQUE, ou chute de potentiel entre deux points d'un même circuit; non donné par Ohm à la différence de potentiel de ces deux points.

CIBLE ÉLECTRIQUE. — Cible à enregistrement électrique destinée à faire connaître au tireur en quel point le projectile a touché la cible. Il en existe plusieurs systèmes, mais le principe de l'appareil consiste toujours à diviser la surface de la cible en rectangles ou en carrés égaux. Près du tireur se trouve un fac-similé divisé de la même façon. Lorsque la balle touche un rectangle quelconque de la cible, un courant électrique est envoyé et fait apparaître ou disparaître un signal dans la division correspondante du fac-similé. Les contacts électriques à la cible sont obtenus de deux manières différentes. Dans un premier système, chaque rectangle est à bascule et, en tombant, ferme le circuit. Dans un

deuxième système, dit à percussion, les rectangles sont fixes, mais derrière eux se trouvent des pendules qui subissent la réaction du choc et ferment le circuit.

CINÉTIQUE (du grec *kinesis*, mouvement). — Épithète qui sert à caractériser le mouvement. Aussi Gordon et d'autres auteurs donnent-ils le nom d'ÉLECTRO-CINÉTIQUE à l'étude de l'électricité en mouvement.

CIRCONSCRIRE ou LOCALISER UN DÉRANGEMENT. — Consiste à faire une série de recherches ayant pour but d'éliminer toutes les parties d'un circuit où le DÉRANGEMENT n'existe pas.

CIRCUIT ÉLECTRIQUE. — On désigne sous le nom de circuit l'ensemble des appareils producteurs d'électricité, des appareils destinés à la recevoir, et des fils conducteurs qui les réunissent. On dit que le circuit est *fermé* lorsqu'il n'y a aucune solution de continuité ni dans la source d'électricité, ni dans les fils conducteurs, ni dans les appareils destinés à recevoir cette électricité; dans le cas contraire le courant ne passe pas et le circuit est dit *ouvert*. On dit d'une pile ou d'une machine électrique qu'elle est en court circuit lorsque les deux pôles sont réunis par un conducteur métallique de résistance nulle ou pratiquement nulle.

Clarke (Henry Hyde), ingénieur et philologue anglais, né à Londres en 1815, mort le 22 décembre 1878. Après avoir été soigneusement élevé par son père, connu pour ses deux projets de canalisation de l'isthme de Panama, il fut nommé ingénieur civil à Londres, en 1835. Depuis cette époque, tout en s'occupant avec ardeur de sa profession, il n'a pas cessé d'écrire dans le « Journal des Ingénieurs civils et des Architectes » et dans d'autres feuilles périodiques de même nature. Parmi ses nombreux écrits, nous citerons ses études sur les docks hydrauliques et hydrostatiques des États-Unis, sur les *Digues de la Hollande* (1849), sur le trafic des chemins de fer en Belgique, sur le TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE, L'IMPRESION GALVANIQUE, l'acoustique, la navigation à vapeur sur les canaux, les banques, les assurances contre l'incendie. Il a également publié des travaux très importants sur les mines d'or de la Californie et de l'Australie, et un ouvrage d'une si haute portée sur le *Système des chemins de fer, la colonisation et la défense de l'Inde anglaise* (1857), que le gouvernement a pris ses vues en considération, et qu'une commission parlementaire a fait sur son système un rapport des plus favorables. Comme inventeur, Clarke est connu surtout par les perfectionnements qu'il a apportés à la machine d'induction de Pixii. Comme linguiste et comme philologue, il est un des hommes les plus remarquables de notre époque. Rival du fameux Mezzofanti, et parlait couramment quarante langues et dialectes, et en comprenait près de cent. En 1855, il a publié un *Nouveau Dictionnaire de la langue anglaise* qui renferme 100,000 mots. C'est le premier lexique anglais qui admette les néologismes américains. Une édition revue et augmentée a été publiée en 1858. On lui doit, en outre, les ouvrages suivants : *Leçons sur les couleurs* (1839); *Théorie de la construction des voies ferrées* (1845); *La vie militaire de Wellington* (1849); *Grammaire de la langue anglaise* (1853); *Manuel de Philologie comparée* (1859); *Les habitants préhelléniques de l'Asie Mineure* (1864); *La langue paléogéorgienne et les établissements caucaso-thibétains en Asie* (1870); *La Terre sainte et l'Europe* (1870); *L'Époque du Caucase* (1873); *Mémoire sur la grammaire comparée de*

l'Égyptien et du copte (1873); *Le Guarani du Brésil* (1875); *Le Culte du serpent et de Siva et la mythologie* (1878); *L'Époque des Rithos et des Rithos-Périens* (1877); enfin *Classification de la langue bosnie et de la langue scythique, et Grammaire comparée du japonais et du basque*.

CLAVIER. — Nom donné aux manipulateurs de divers appareils télégraphiques, tels que le Hughes, le Baudot, etc. (V. TÉLÉGRAPHIE); ils ont, en effet, la forme d'un clavier.

GLEF. — Le mot *clef* s'emploie généralement pour désigner le MANIPULATEUR du télégraphe Morse. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

On désigne également sous ce nom différents appareils servant à interrompre ou à fermer des circuits, à inverser des COURANTS, à mettre en COURT CIRCUIT certains appareils, à charger et à décharger des CONDENSATEURS. (V. COMMUTEUR.)

Clerk-Maxwell (James), savant physicien anglais, né en 1831, mort à Cambridge le 5 novembre 1879. Dès l'âge de dix-huit ans il montra un goût prononcé pour les sciences et adressa des travaux d'un mérite réel à la Société royale d'Édimbourg. Agrégé au Trinity College de Cambridge, puis professeur de physique au collège Marischall d'Aberdeen, membre des Sociétés royales de Londres et d'Édimbourg, il publia de nombreux travaux, parmi lesquels il faut citer : *Les lignes de force de Faraday* (1850); *Théorie dynamique du champ électro-magnétique*; *Théorie dynamique du gaz*; un mémoire sur les *Mouvements des anneaux de Saturne*, que couronna l'Université de Cambridge; *Théorie des couleurs composées*, qui lui valut le prix Rumford; *Traité élémentaire d'Électricité*, traduit en français par G. Richard, 4 vol. in-8° (Paris, 1884); son fameux traité *le Magnétisme et l'Électricité*, que beaucoup considèrent comme l'évangile de la science contemporaine. Le duc de Devonshire, un des descendants de Cavendish, ayant doté l'Université de Cambridge d'un laboratoire de physique expérimentale modèle, ce fut Clerk-Maxwell qui fut chargé de son installation. C'est à cette œuvre qu'il consacra les dernières années de sa vie.

CLOCHE ÉLECTRIQUE. — Les cloches sont des appareils destinés à produire sur une ligne de chemin de fer, par l'emploi de courants électriques, des signaux acoustiques à l'aide de sonneries conventionnelles.

Les cloches sont placées généralement sur voie unique pour annoncer les trains et pour donner contre le danger de leur collision une garantie qui complète les prescriptions réglementaires. Leur usage a été rendu obligatoire par la circulaire ministérielle du 13 septembre 1880 sur les sections à voie unique où circulent plus de six trains réguliers par jour dans chaque sens, à moins que les Compagnies ne préfèrent leur substituer, le *block-system* à signaux extérieurs.

On distingue deux types principaux de cloches :

1° *Le système Siemens*, caractérisé par l'emploi d'INDUCTEURS électro-magnétiques pour l'annonce des trains par volées de coups, avec ou sans possibilité d'émissions de signaux par les postes de pleine voie;

2° *Le système Leopolder*, dans lequel on fait usage d'un COURANT électrique permanent permettant de faire d'un poste intermédiaire quelconque des signaux d'alarme ou des demandes de secours.

Dans l'un et l'autre cas le mécanisme de l'appar-

reil comprend : 1° un mouvement d'horlogerie actionné par un poids et destiné à faire fonctionner le marteau de la cloche; 2° un mécanisme de déclenchement qui dans le cas du système Siemens est actionné par des COURANTS d'INDUCTION, et dans le cas du système Leopolder par l'interruption du courant continu qui le traverse. Les diverses Compagnies françaises ont modifié plus ou moins ces deux types, pour les adapter aux besoins de leur exploitation.

Voici la description détaillée des trois principaux systèmes de cloches électriques employées, d'après l'ouvrage de M. G. Dumont : *L'Électricité appliquée à l'exploitation des chemins de fer*.

1° *Cloches Siemens (type Nord).* — Sonnerie du premier type. — Cette sonnerie se compose d'un fort mouvement d'horlogerie mû par un poids qui actionne deux marteaux.

La roue principale porte, autour de son axe, un nombre de cames correspondant au nombre de coups qu'on veut obtenir pour un tour complet de la roue. Ces cames font basculer deux leviers, reliés aux marteaux par des tirages en fil de fer : les deux leviers se terminent à la partie supérieure par un pas de vis assez long, muni de deux écrous à oreilles.

Cette disposition permet de régler les tirages en fil de fer qui peuvent subir les influences de la température. Les marteaux frappent alternativement sur deux timbres en fonte concentriques, de son différent, et suspendus l'un au-dessus de l'autre à la partie supérieure de la tour qui renferme le mouvement d'horlogerie. Un volant à trois ailettes sert à régler la rapidité d'action du mécanisme.

L'appareil comprend enfin un ÉLECTRO-AMBIANT, une palette de fer doux à laquelle est fixé un crochet d'enclenchement qui maintient tout le mouvement, et un PARATONNERRE. Si l'on fait passer un courant dans les bobines, la palette est attirée, déclenche en même temps le mécanisme, qui se met en marche, entraîné par le poids. Il est arrêté par une tige de fer qui vient buter sur un cran entaillé dans un petit disque fixé derrière la roue principale et faisant, comme elle, un tour complet. Le mécanisme est enfermé dans une tour en tôle posée sur un bâti en ciment et fixée à l'aide de quatre boulons; enfin un petit toit, placé à la partie supérieure de la tour et au-dessus des deux timbres, empêche la pluie ou la neige de pénétrer à l'intérieur (fig. 1). — Les fils de liège arrivent aux isolateurs LL.

Sonnerie du deuxième type. — Ce nouveau modèle de sonnerie ne s'écarte guère du principe du premier type.

Le mécanisme se compose d'un mouvement vertical d'horlogerie mû par un poids et actionnant deux marteaux.

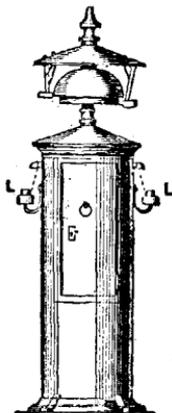


Fig. 1.

Vue extérieure d'une Cloche du premier type.

La roue principale est munie de quinze cames; elle fait un tiers de tour pour une série de cinq coups doubles.

Deux buttoirs reliés aux tiges verticales des marteaux rencontrent successivement les cames de la roue principale et mettent en mouvement les deux marteaux qui frappent alternativement sur deux timbres concentriques en fonte. Ces deux timbres ont un son différent et sont placés à la partie supérieure de la tour. Un volant muni de deux ailettes sert à régler la vitesse du mécanisme. A droite et à gauche de ce mécanisme sont fixés, sur le bâti, deux paratonnerres à pointes, reliés à la terre par la masse de la tour.

L'appareil comprend en outre un électro-aimant et une palette munie à l'une de ses extrémités d'un écrou et d'un contre-écrou formant une masse qui produit l'effet d'un ressort antagoniste.

Un cadran, muni d'une aiguille et suspendu à l'arbre horizontal du barillet, est placé au milieu de la porte principale de la tour devant une ouverture vitrée, afin d'indiquer à la fois le nombre de séries de coups donnés par la sonnerie et le moment où il est nécessaire de remonter le poids moteur.

La tour en fonte qui renferme le mécanisme est fixée au sol sur un bâti en ciment à l'aide de quatre boulons de fondation.

Le timbre supérieur, dont le diamètre est un peu plus grand que celui de la tour, sert de toit et abrite le mécanisme contre la pluie ou la neige.

Sonnerie du troisième type. — Ce modèle de sonnerie est plus simple et plus solide que les précédents.

La pièce principale est un treuil actionné par un fort contrepoids et qui porte à une extrémité une roue pleine en fonte, garnie, sur son pourtour, de neuf dents destinées à faire osciller un marteau unique qui frappe intérieurement un timbre d'une série de six coups simples par chaque déclenchement. La masse du marteau est assez lourde. Celui-ci est fixé sur une tige verticale munie de deux buttoirs qui sont rencontrés alternativement par les cames de la roue en fonte.

L'appareil comprend en outre un électro-aimant, une palette de fer doux et un paratonnerre.

Le système de déclenchement est analogue à celui des cloches du type Est qui est décrit plus loin.

Le mouvement est enfermé dans une boîte cylindrique de tôle, posée sur une colonne de fonte de 2^m,60 de hauteur, dans laquelle descend le poids moteur.

La base de la colonne, enfoncée dans le sol à 0^m,90 de profondeur, est maintenue avec de la terre battue mêlée de cailloux.

Source d'électricité. — La source d'électricité qui fournit le courant électrique nécessaire pour actionner les sonneries d'annonce décrites ci-dessus est un inducteur magnétique disposé dans chaque station. Cet appareil se compose d'une grosse bobine tournant, au moyen d'une manivelle, entre les branches de douze forts barreaux aimantés en forme de fer à cheval (*v.* plus loin). Un demi-tour de la manivelle suffit pour faire déclencher toutes les sonneries qui se trouvent dans un même groupe.

Un commutateur permet de diriger le courant électrique fourni par l'inducteur dans le sens de l'un ou de l'autre des groupes de sonneries entre lesquels la gare est placée.

Ce commutateur se compose d'un levier vertical sollicité par deux ressorts antagonistes et ordinairement maintenu entre deux verrous; afin d'éviter les erreurs de direction, ce levier ne peut être manœuvré qu'autant qu'on a relevé, au moyen d'une clef, le verrou du côté qui correspond au groupe de sonneries qu'il s'agit de faire fonctionner.

Une boussole placée au-dessus du commutateur indique le passage du courant. L'emploi de ce commutateur permet aux stations de signaler le départ des trains ou des machines, ou de donner des signaux d'alarme dans le sens voulu sur la voie unique.

Dans certains cas, il est nécessaire de laisser aux agents la faculté d'annoncer exceptionnellement des trains ou des machines circulant entre deux postes. A cet effet, on emploie un commutateur facultatif.

Cet appareil se compose d'une boîte de bois ou de fonte, dont le couvercle est normalement fermé et qui contient une pièce de cuivre qui entre à frottement dur entre deux contacts fixes. La ligne de droite, comme celle de gauche, étant reliée à chacun de ces deux contacts, la communication directe se trouve établie sur le fil des sonneries, tant que le couvercle de la boîte est fermé.

Si, au contraire, on ouvre ce couvercle et si on bouche le trou pratiqué dans l'un ou l'autre des contacts fixes avec un bouchon métallique relié électriquement avec l'inducteur, il suffira de manœuvrer cet inducteur pour envoyer un courant qui fera déclencher toutes les sonneries correspondant au côté où l'on a introduit le bouchon.

Ce bouchon est composé d'un manche de bois terminé par deux parties métalliques séparées par une plaque d'ébonite qui les dépasse légèrement, de façon à obliger le bouchon à entrer dans le commutateur selon une position déterminée.

Une boussole placée sur le trajet suivi par le fil de terre indique le passage du courant.

2^e Cloches Siemens (type Est). — Ces cloches permettent l'emploi d'un vocabulaire de signaux très complet formés de coups simples différenciés combinés; la source d'électricité est, comme dans le système précédent, une machine d'induction.

L'appareil se compose essentiellement du socle de fondation et d'un fût; ces deux pièces sont boulonnées ensemble avec interposition d'une rondelle en feutre goudronné entre les brides.

À la partie supérieure du fût se trouve une couronne en fonte qui reçoit le bâti de l'appareil à cloche, lequel est entouré par une enveloppe cylindrique en tôle. Cette enveloppe est mobile et peut être descendue à l'aide de deux poignées.

Un chapeau en fonte, en forme de toit, protège le mécanisme et sert en même temps de support au timbre en fonte placé au-dessus.

Enfin on remarque au sommet de l'appareil une pièce en forme de T renversé sur laquelle sont fixés les isolateurs en porcelaine des fils de ligne et des fils qui relient ces derniers à la cloche.

Mécanisme. — Le mécanisme est représenté sur les fig. 2 et 3, qui donnent son élévation longitudinale et une vue de profil. On voit qu'il se compose d'un treuil à contrepoids moteur et d'un électro-aimant avec mécanisme d'enclenchement.

Le treuil comprend un tambour en fonte *t* muni à l'une de ses extrémités d'une roue à rochet *R* et dont l'axe *X* est supporté par le bâti *D*. À la suite de la roue *R* se trouve un disque *E* fou sur l'axe *X* et portant neuf cames *c, c, c, ...* et autant de saillies *e, e, e, ...* destinées à caler neuf dents plates *d, d, d, ...* en cuivre fixées sur la face opposée à celle des cames. Enfin neuf chevilles *b, b, b, ...* sont ajoutées sur la face des cames *c, ...* et le disque *E* porte un cliquet *k* dont le contact avec les dents du rochet *R* est assuré au moyen d'un ressort goupillé.

Le treuil *t* est actionné par un contrepoids qui descend dans l'intérieur de la colonne de support de

l'appareil. Ce poids étant suspendu par deux poulies mouffées, on obtient un grand nombre de signaux pour une course relativement faible du poids moteur.

L'électro-aimant G attire une palette de fer doux H chaque fois qu'un courant électrique passe dans les bobines; dès que ce courant cesse, le ressort antagoniste s'écarte l'armature de l'électro dont la course se trouve limitée par la vis V.

La palette H, qui ne fait qu'osciller légèrement

autour de l'axe Z, porte une ancre d'échappement *f*, qui, au repos, accroche la broche *i* du levier de déclenchement L. Ce levier est monté sur un axe *l* en acier entaillé à mi-diamètre au droit du passage des dents *d*; la partie pleine de cet axe *l* arrête une dent *d* lorsque l'ancre *f* retient la broche *i* du levier L. Lorsque le levier L est abandonné par l'ancre *f*, le ressort de rappel *r* le soulève violemment jusqu'au ressort courbe *u*, qui amortit le choc.

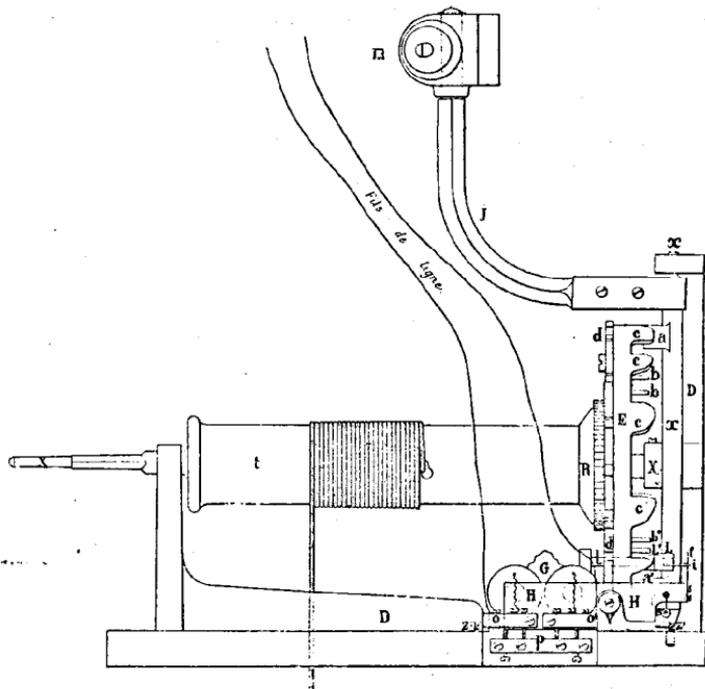


Fig. 1. — Élévation longitudinale du mécanisme d'une Cloche type de la Compagnie de l'Est.

Une lame ressort *n* vissée sur la palette H a pour but de recevoir le choc du levier L lorsqu'il redescend et de le renvoyer légèrement pour assurer la prise de la broche *i* par le crochet de l'ancre.

Un paratonnerre à vis formant pointe *p* complète le système : la partie supérieure, isolée de la masse de l'appareil, établit les communications électriques entre les deux fils de ligne attachés aux vis *o* et *o'* et les bobines de l'électro-aimant; la partie inférieure, en contact avec la masse métallique de l'appareil, communique avec la terre de façon à écarter l'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE en cas d'orage. Ceci posé, le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre.

On voit qu'à l'état de repos le marteau *m* est prêt

à être lancé par la came supérieure *c* qui touche l'ailette *z*; une dent *d* repose sur la partie pleine de l'axe *l* et retient le treuil qui est sollicité par le poids.

Lorsqu'un courant électrique passe dans l'électro G, l'armature H est attirée et ramenée aussitôt dans sa position normale afin que l'ancre *f* soit toujours prête à accrocher le levier L. Ce faible mouvement de l'armature H a permis au ressort *r* de soulever le levier de déclenchement L, qui reste en contact avec la lame *n*. Le mouvement angulaire du levier a fait tourner l'axe *l*, qui présente alors sa partie entaillée à la dent *d* et la rend libre.

Le contrepois *a* fait tourner le treuil jusqu'à ce que la cheville *b*, rencontrant le taquet *l'* du levier L, ait ramené ce levier en prise avec l'échappe-

ment *f*; le levier *L* en s'abaissant présente de nouveau la partie pleine de l'axe *l*, qui arrête la dent *d* suivante.

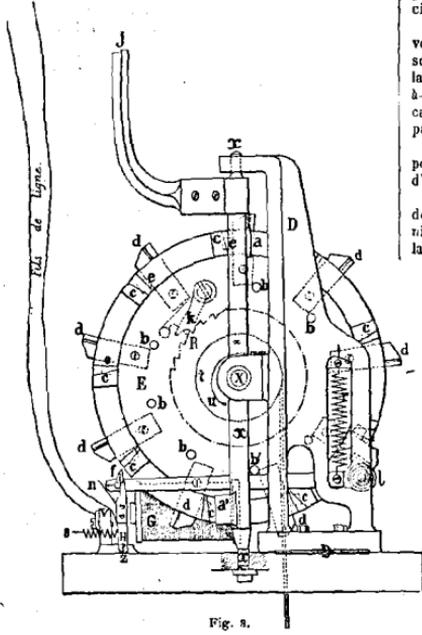


Fig. 3.

Vue de profil du mécanisme d'une cloche type de la Cie de l'Est.

Dans le mouvement qui s'est produit, la came supérieure, en contact avec l'ailette *a* de l'axe de rotation *x* du marteau *m*, a lancé celui-ci à l'intérieur du timbre qui a sonné un coup. Le marteau *m* a subi un léger mouvement de recul et la came inférieure en rencontrant l'ailette *a* l'a ramené tout à fait dans sa position initiale.

Chaque émission de courant produit ainsi un coup de cloche.

Une aiguille indique à l'extérieur du pigeonnier la position du poids moteur dans la colonne et le moment où il est nécessaire de le remonter.

Source d'électricité. — La source d'électricité employée est l'inducteur Siemens (fig. 4), complété en vue de son usage spécial ci-dessus défini.

La petite machine magnéto-électrique ou inducteur a été conservée avec sa bobine E, ses douze lames d'aimant en fer à cheval A, ses frotteurs *b* et *b'* pour recueillir l'électricité produite et ses boutons manipulateurs dits de contact B, B. La manivelle M a été rendue folle sur son axe et reliée aux engrenages qui actionnent la bobine d'induction au moyen d'un cliquet et d'un rochet. Le bâti de l'inducteur a, de plus, été modifié de façon à arrêter un appendice de la manivelle lorsqu'une demi-révolution est accomplie, ce qui correspond à trois tours de bobine. Avec ces dispositions, en manœuvrant la manivelle d'avant en arrière, on ne produit aucun mouvement de

la bobine d'induction et par suite aucun signal; mais en faisant décrire à la manivelle un demi-tour en avant on produit une émission de courant qui provoque un coup de toutes les cloches d'un même circuit.

Les inducteurs de postes intermédiaires de pleine voie, ne devant être manœuvrés que très rarement, sont munis en outre d'une goupille scellée qui fixe la manivelle dans sa position normale de repos, c'est-à-dire à l'extrémité de sa course en avant. Cette précaution empêche la manœuvre inopportune de l'appareil.

Les inducteurs sont montés sur une tablette en bois portant des contacts, les connexions et les bornes d'attache des fils conducteurs.

M. Postel-Vinay a imaginé un nouvel inducteur, de dimensions restreintes, qui a été essayé, puis définitivement adopté par la Compagnie de l'Ouest pour la manœuvre de ses cloches. Cet appareil, qui est dé-

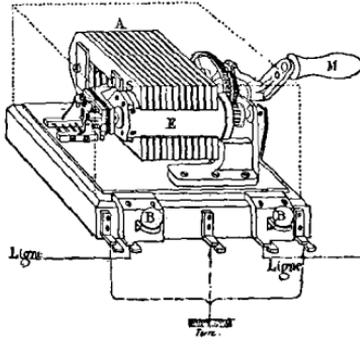


Fig. 4. — Vue d'un inducteur Siemens.

crit et représenté au mot INDUCTEUR, à l'avantage de permettre aux agents de la voie de donner au besoin le signal d'alarme.

3° Cloches Leopolder. — Le mécanisme de ces appareils est représenté sur la fig. 5.

Un courant de pile continu dans les bobines H maintient normalement l'armature *a* appliquée contre le noyau de l'électro-aimant. Dès que l'on interrompt momentanément quelque part le courant, l'armature *a* est lâchée, et la fourchette A, par une double oscillation, laisse tomber par son propre poids l'extrémité du levier B entre ses deux branches; celui-ci alors dégage la pièce E de l'encoche *e* et de ce fait rend libre le doigt F.

Le mouvement d'horlogerie, qui n'est plus retenu ni en E ni en F, entre en action, modéré du reste par l'influence régulatrice du volant G, et un des mannetons M vient soulever l'extrémité du levier L qui tire sur le marteau de la cloche. Mais aussitôt après, la came C appuyant sur la tête *b* du levier B, relève celui-ci, et la pièce E, qui n'est plus poussée par ce levier, vient retomber dans l'encoche *e* et sous le doigt F pour arrêter le mouvement.

On voit au-dessous (fig. 6) les différentes positions que prend la fourchette A, et, par suite, les mouvements qui en résultent pour le levier B.

Ainsi, à chaque rupture momentanée de courant

en un point quelconque du circuit, il y a un coup de cloche à tous les appareils intercalés dans ce circuit.

Le mécanisme est simple et se prête bien à l'emploi qui en est fait pour passer, de points intermédiaires à tous les autres postes, des signaux d'alarme ou des demandes de secours. Mais il exige l'emploi de PILES A COURANT CONTINU (piles Meidinger), ce qui

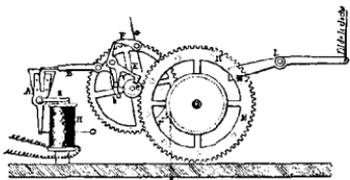


Fig. 5.

Vue du mécanisme des Cloches Leopolder.

nécessite un entretien constant et ce qui occasionne par suite une certaine dépense.

Pour permettre d'envoyer plus rapidement les signaux, on emploie en Autriche, sur certaines lignes, des appareils automatiques. Ce sont de véritables boîtes à musique dont le cylindre tournant porte des rangées de dents qui interrompent le courant chaque fois qu'elles rencontrent un petit levier, porté



Fig. 6.

Montrant les différentes positions prises par la fourchette A et les mouvements qui en résultent pour le levier B.

sur un chariot curseur. Pour passer un signal donné, on amène le curseur en regard de la rangée de dents correspondante, et avec une manivelle on remonte le cylindre de l'appareil, qui alors se met à tourner en produisant le nombre voulu d'interruptions de courant.

A ce système est encore joint un appareil télégraphique qui contrôle chaque signal transmis sur une bande de papier. Cette bande se trouve percée d'autant de trous qu'on a donné de coups de cloche.

Il existe deux cloches à chaque station intermédiaire, une à chaque extrémité du bâtiment. Les stations terminus n'en ont qu'une. Enfin entre les stations on place un certain nombre de cloches, de façon à former des sections d'une longueur déterminée.

Il n'y a de piles qu'aux points extrêmes de chaque section.

A toute cloche correspond un interrupteur qui est placé dans la boîte de l'appareil et à l'aide duquel on produit l'interruption et le rétablissement du circuit nécessaire pour faire battre un coup à toutes les cloches de la section. Les postes intermédiaires de pleine voie, qui ne doivent être postes expéditeurs que dans des cas exceptionnels, n'ont pas d'autre interrupteur: le bouton de ce dernier est en outre mis sous scellé.

Dans les gares, on ne fait pas usage de l'interrup-

teur, mais d'un bouton spécial formant commutateur, qui est habituellement caché par un couvercle à charnière qu'il faut ouvrir pour se servir de l'appareil.

La fig. 7 donne la vue d'une cloche Leopolder ins-

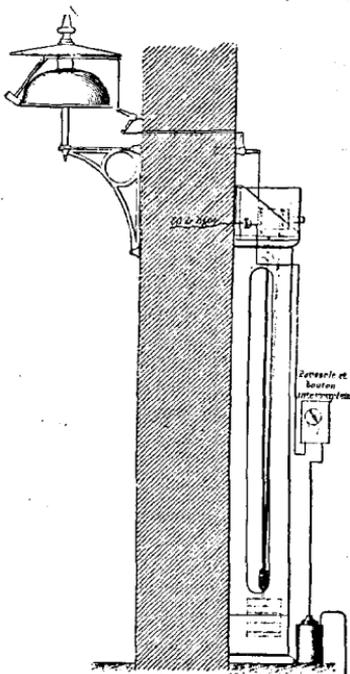


Fig. 7.

Vue d'une Cloche Leopolder installée sur le mur de façade d'une station.

lée dans une gare. La cloche se pose contre le mur extérieur, du côté du quai des voyageurs; à l'intérieur de la station se trouvent le mécanisme moteur, la boussole, le bouton interrupteur et la pile.

Si la gare est tête de ligne, cette installation suffit; mais s'il s'agit d'une gare intermédiaire à service permanent, on a pour chaque section une installation semblable.

Dans les gares à service interrompu, on fait usage d'un commutateur spécial qui permet, lorsque la gare est ouverte au service, d'opérer absolument comme dans une gare à service permanent; on peut en outre se mettre sur COMMUNICATION DIRECTE, et dans ce cas les deux cloches de chaque côté de la gare se trouvent dans une situation identique à celle des cloches de pleine voie.

CLOU D'ÉPREUVES. — Appareil qui sert à mesurer les différences d'intensité d'un champ MAGNÉTIQUE. (V. AIMANT.)

COEFFICIENT DE CHARGE. — Quantité d'électricité nécessaire pour porter l'unité de surface à un POTENTIEL égal à l'unité.

COERCITIVE (Forces). — Nom donné à la faculté que possèdent certains métaux, tels que l'acier, le nickel, le cobalt, de retenir une certaine portion du magnétisme qu'on leur a communiqué par une méthode quelconque d'aimantation. (V. AIMANT.)

COFFERDAM. — Substance extraite de la noix de cocotier. Il y en a deux variétés : le cofferdam tiré de l'écorce centrale de cette noix par son inventeur, M. Pallue de La Barrière, est appliqué dans la marine; celui que M. Germain propose d'utiliser pour les piles improprement dites PILES SÈCHES est tiré des fibres externes de la noix de coco, et désigné sous le nom de *sporique*. Il ne peut mieux se comparer, pour l'aspect et la couleur, qu'à la poudre de cacao; sa densité est de 0,08; sous la simple pression de la main, on peut réduire son volume des deux tiers. Un volume donné de cofferdam peut facilement être imprégné d'un égal volume de liquide; dans la pratique, il faut à peu près doubler le volume de matière solide pour obtenir une pâte suffisamment stable. En outre, cette substance nouvelle conduit très mal la chaleur; elle préserve donc les liquides auxquels elle est mêlée, de l'évaporation et de la gâlée.

COLLECTEUR. — Organe des machines dynamo ou magnéto-électriques ayant pour but de permettre de recueillir les courants produits dans ces machines. (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

Collecteur à goutte d'eau de Thomson. — Appareil imaginé par Thomson pour étudier le POTENTIEL de l'air. Il consiste en un vase métallique contenant de l'eau qui s'écoule goutte à goutte à travers un tube de très petit diamètre. Les gouttes en se séparant du fil de liquide subissent l'influence de l'électricité de l'air ambiant, ce que l'on constate en les recueillant dans un vase isolé en communication avec un ÉLECTROMÈTRE.

COMBINATEUR. — Organe spécial de certains télégraphes imprimeurs, qui a pour objet de traduire, au poste d'arrivée, le signal conventionnel envoyé par le poste de départ. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

COMMOTION. — Effet physiologique produit par une décharge d'ÉLECTRICITÉ STATIQUE.

COMMUNICATION DIRECTE. — Action de mettre un poste télégraphique situé en deçà en communication avec un poste situé au delà, au moyen du COMMUTATEUR du poste intermédiaire, qui se met lui-même hors du circuit.

COMMUTATEUR. — Appareil servant à changer le sens d'un COURANT électrique ou à interrompre ce courant, ou enfin à changer sa direction. Dans les expériences d'électro-dynamique, le physicien a souvent besoin de changer le sens d'un courant d'électricité, et, dans les bureaux télégraphiques, l'employé chargé de la correspondance doit quelquefois détourner le courant de sa direction, pour lui faire traverser telle ou telle pièce du bureau ou d'un bureau voisin, ou même pour le lancer sur une autre ligne. On emploie pour cet objet des appareils appelés commu-

tateurs, dont l'invention est due à l'illustre Ampère. Il existe un grand nombre de ces appareils, qui peuvent servir, selon le cas, soit à interrompre un courant, soit à en changer la direction.

O (fig. 1) est un cylindre en bois ou en ébonite,

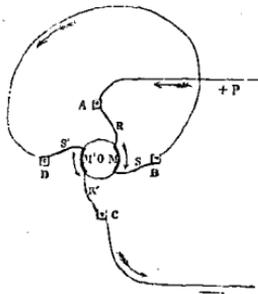


Fig. 1.

substances peu conductrices, garni de deux lames métalliques qui ne se touchent pas. Sur la fig. 1, on voit la coupe de l'une de ces lames entre les lettres R et S, et la coupe de l'autre entre R' et S'. Autour du cylindre O s'élèvent quatre bornes A, B, C, D, de chacune desquelles part une baguette R, R', S, S', faisant ressort, qui vient presser le cylindre. Ce cylindre et les quatre bornes qui l'entourent étant fixés sur un plateau de bois, on les place dans le courant de manière que le circuit conducteur passe par les quatre bornes et par les lames M et M'. Ainsi le courant arrivant en A passe sur le ressort R, d'où il suit une route que l'on voit indiquée par des flèches. Pour changer le sens du courant, faisons tourner (fig. 2) le cylindre O, de manière que les

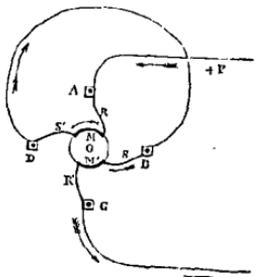


Fig. 2.

deux ressorts R et S' touchent la lame M', tandis que les ressorts S et R' toucheront la lame M. On voit ce qui arrivera : le courant passera sur la lame M' avant de passer sur la lame M, et jusqu'en R' il ira au rebours de sa première direction. Si l'on fait tourner le cylindre O de manière que le ressort R tombe entre les deux lames métalliques, le courant sera interrompu.

Dans les postes télégraphiques, on emploie généra-

lement le commutateur représenté par la fig. 3. DD est un disque de bois sur lequel sont incrustées un certain nombre de lames métalliques A, B, C... A la première lame A est fixé le fil de ligne; à chacune des autres est fixé un fil qui se rend dans une région déterminée du bureau, ou qui sert de tôle à une ligne nouvelle, et il s'agit de transmettre le courant du fil A

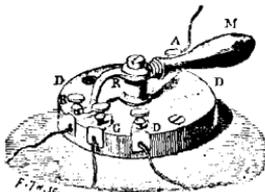


Fig. 3.

à l'un quelconque des autres. Pour cela, à l'extrémité de la lame A, au centre du disque, se dresse un axe de métal autour duquel on peut, à l'aide d'un manche isolant M, faire tourner le ressort métallique R. Quand le ressort R appuie sur la lame B, le courant de la ligne passe tout entier dans le fil qui est soudé à cette lame. Si le ressort ne touche aucune lame, il y a interruption du courant.

Les communications obtenues par simple pression d'un ressort pouvant laisser à désirer, on a été conduit à former les commutateurs de pièces métalliques séparées les unes des autres et que l'on réunit, suivant les besoins, au moyen de chevilles métalliques, parfois appelées *clefs*, qu'on enfonce dans des trous ménagés à cet effet.

En juxtaposant un certain nombre de commutateurs simples et en établissant entre les diverses pièces les communications convenables, on obtient toutes les combinaisons possibles entre les fils qui y aboutissent.

Il existe une grande variété dans la disposition de ces appareils.

La fig. 4 donne la vue d'un commutateur suisse

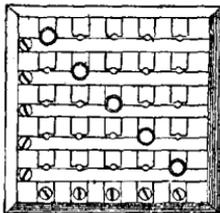


Fig. 4.

Vue en plan d'un Commutateur suisse à 5 directions.

à cinq directions. C'est cette disposition qui fournit le plus de combinaisons. Ce commutateur comprend deux séries de lames parallèles à angle droit séparées les unes des autres et percées de trous à chaque point de croisement. Des chevilles métalliques légèrement coniques ou fendues à la partie inférieure pour former ressort, que l'on enfonce dans les trous, permettent de faire communiquer deux à deux les lames des deux séries.

Dans le commutateur bavarois, les lames sont placées sur le même plan, tandis que dans le commutateur suisse ces lames sont placées les unes au-dessus des autres. La fig. 5 donne la vue en élévation du commutateur bavarois muni de ses bouchons.

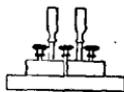


Fig. 5.

Vue de profil du Commutateur bavarois et des bouchons servant à établir les communications.

Suivant le but que doit remplir les commutateurs, on les appelle *interrupteurs*, *inverseurs*, *commutateurs de court circuit* ou *tapers*, *clefs de décharge*.

Commutateur de démarrage. — Nom donné à un commutateur imaginé par M. Marcel Deprez pour mettre en marche l'excitatrice d'une machine dynamo-électrique *réceptrice*, au moyen du courant engendré par une *génératrice* placée à une certaine distance de la réceptrice. Cet appareil a été conçu lors des expériences de transport de la force par l'électricité, faites en 1885-86, entre Creil et Paris. (V. TRANSPORT DE LA FORCE.)

À Creil, la génératrice et son excitatrice étaient actionnées par des machines à vapeur. Le mouvement de l'excitatrice déterminait le courant local et par suite le CHAMP MAGNÉTIQUE de Creil, tandis que le mouvement de la génératrice, se produisant dans ce champ, déterminait par INDUCTION le courant de la ligne, lequel arrivait à la machine réceptrice de Paris. Mais les anneaux récepteurs de cette dernière machine resteraient immobiles malgré le courant qui les traverse, si l'on ne créait et entretenait le champ magnétique. C'est à l'aide du commutateur de démarrage que l'on utilise le courant envoyé par la génératrice de Creil pour créer ce champ. À cet effet, on met l'arbre de l'anneau de la réceptrice en communication mécanique avec celui de son excitatrice par une courroie. Quand on commence à faire un transport, on met provisoirement, à l'aide du commutateur, le circuit local de la réceptrice dans le circuit de la ligne; le courant venant de la ligne, arrivant simultanément dans les anneaux et les inducteurs de la réceptrice, ces anneaux se mettent en mouvement et ce mouvement se communique à l'excitatrice, de sorte que le champ magnétique de la réceptrice va toujours en augmentant. Quand il a atteint sa valeur normale, on sépare, à l'aide du même commutateur de démarrage, le circuit local de celui de la ligne. Le champ magnétique, une fois créé, se maintient.

Le commutateur ne sert qu'à chaque reprise de travail, d'où son nom; il est combiné de façon à établir ou à rompre la communication entre la ligne et le circuit local de la réceptrice d'une façon graduelle, afin d'éviter l'EXTRA-COURANT.

COMPAS DE MARINE. — Instrument servant à la direction des navires. (V. BOUSSOLE.)

COMPENSATEUR MAGNÉTIQUE DE BARLOW. — Disque ou masse de fer doux placé à proximité d'un COMPAS ou BOUSSOLE de marine pour compenser sur l'aiguille de cet instrument l'action des masses de fer qui entrent dans la construction du navire.

Ce système de compensateur a été imaginé par Barlow en 1823.

COMPOSITEUR-PERFORATEUR. — Nom donné à l'organe de l'appareil télégraphique automatique de Wheatstone qui sert à perforer la bande de papier, laquelle est ensuite introduite dans le transmetteur automatique pour permettre l'envoi des courants nécessaires à la reproduction des signaux. (V. ALPHABET TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉGRAPHIE.)

COMPOUND (de l'anglais *compound*, composé). — Mot qui sert à la dénomination d'appareils ou de machines.

Dynamo-compound. — Machine dynamo-électrique à enroulement compound.

Enroulement compound. — On désigne ainsi un mode d'enroulement des inducteurs des machines dynamo-électriques, imaginé par M. Marcel Deprez et qui a pour but de faire maintenir par ces machines, supposées tournant à une vitesse uniforme, une différence de POTENTIEL constante quelles que soient les variations apportées à la résistance du circuit extérieur.

En voici le principe :

1° Désignons par r la résistance de la machine, E la force ELECTROMOTRICE qu'elle développe, I l'intensité qui la traverse, et enfin par H la différence de potentiel établie aux bornes. On aura

$$E = H + rI.$$

Les quantités H et r étant deux constantes, il en résulte que la force électromotrice peut être représentée par une ligne droite telle que *ab* (fig. 1) si

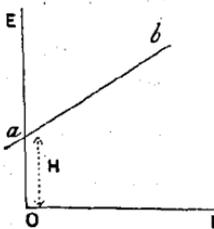


Fig. 1.

l'on porte les intensités en abscisses et les forces électromotrices en ordonnées.

L'ordonnée à l'origine de la droite *ab* sera égale à H, et son coefficient angulaire sera égal à la résistance r .

2° Tant que le champ magnétique d'une machine est loin de la saturation, son intensité est sensiblement proportionnelle à celle du courant exciteur, et la portion de la courbe caractéristique correspondante se confond à peu près avec une ligne droite ayant une ordonnée à l'origine très faible (fig. 2).

Le problème revient à faire en sorte que cette caractéristique se confonde avec la droite *ab* que nous avons tracée plus haut.

Nous nous rappellerons pour cela :

1° Que le coefficient angulaire de la tangente, à l'origine d'une caractéristique quelconque, est pro-

portionnel à la vitesse de rotation ω de la machine. On peut donc poser

$$r = K\omega.$$

Le coefficient K pourra être déterminé expérimentalement avec la plus grande facilité.

2° Que si l'on excite la machine par une source extérieure et constante, elle développera une force électromotrice sensiblement constante.

Le problème pourra donc être résolu si l'on garnit les inducteurs d'un double enroulement. Le premier système de bobines sera monté en TENSION dans le circuit de la machine. En la faisant fonctionner comme un dynamo ordinaire et sans envoyer aucun courant dans le second système, on déterminera le coefficient K.

La vitesse à laquelle devra tourner désormais la machine sera fixée par la relation

$$\omega = \frac{E}{K}.$$

Cela fait, on retirera le premier système de bobines du circuit, on excitera le deuxième par un courant fourni par une source étrangère, en faisant tourner

la machine à la vitesse $\omega = \frac{E}{K}$, et on fera varier l'intensité de ce courant jusqu'à ce que la machine dé-

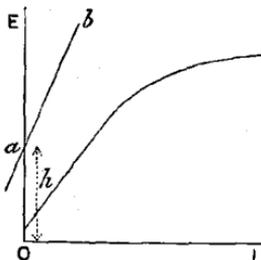


Fig. 2.

veloppe une force électromotrice égale à H. Soit i cette intensité.

Supposons maintenant qu'on rétablisse le premier système de bobines dans le circuit de la machine et qu'on continue à alimenter le second avec un courant d'intensité i . L'intensité de l'excitation des inducteurs sera proportionnelle à $H + ri$. La caractéristique de la machine devra donc se confondre avec la droite *ab*.

M. Marcel Deprez a imaginé cette disposition en 1881. A l'Exposition d'électricité de Paris, il fit fonctionner une machine à double enroulement, à laquelle le courant constant était fourni par une excitatrice séparée. Depuis, on a remarqué qu'en réglant la résistance du deuxième système de bobines de telle façon qu'il fût parcouru par une intensité convenable moyennant l'établissement d'une différence de potentiel H entre les deux extrémités de son circuit, il était possible de l'alimenter par la machine elle-même.

On est arrivé ainsi aux machines compound actuelles, qui sont caractérisées par le double enroulement de leurs inducteurs. Le premier circuit est monté en tension dans le circuit général, le second est monté en DÉRIVATION entre les deux bornes de la machine.

Ce mode de réglage des machines est le plus simple qu'on puisse réaliser, mais il a le grave défaut de ne pouvoir fonctionner que lorsque le champ magnétique de la machine est très loin de son point de saturation, c'est-à-dire lorsque celle-ci est loin de développer son maximum de puissance. Il comporte donc l'emploi de machines beaucoup plus puissantes qu'il ne serait nécessaire pour développer la quantité maxima d'énergie électrique susceptible d'être exigée. Autrement dit, il entraîne à des dépenses de premier établissement très élevées.

Fil compound. — Nom donné à des conducteurs télégraphiques composés d'une âme d'acier et d'une enveloppe de cuivre. (V. CONDUCTEUR ÉLECTRIQUE.)

COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ. — Appareil destiné à remplir dans les distributions électriques le rôle que jouent les compteurs à gaz dans celles du gaz. Au point de vue pratique, ces appareils auraient une importance capitale, étant données le développement rapide de l'industrie électrique et ses applications de plus en plus nombreuses.

Dans un système de distribution d'électricité, il importe de pouvoir mesurer la quantité d'énergie électrique fournie à un consommateur pendant un temps donné. Cette énergie, quelle que soit la forme sous laquelle on la dépense, a toujours pour expression E en **VOLTAMPÈRES** pendant l'unité de temps (E exprimant la différence de **POTENTIEL** aux bornes de l'appareil qui utilise le courant électrique et I l'intensité de circulation; E est exprimé en **VOLTS** et I en **AMPÈRES**).

Pour une période de temps déterminée, l'énergie dépensée est donnée par l'expression

$$\int Edt.$$

Si on fonctionne avec des différences de potentiel constantes, E est constant et l'énergie électrique se calcule alors par la formule

$$\int Idt.$$

Si, au contraire, la distribution a lieu avec une intensité constante et un potentiel variable, l'énergie électrique se calcule par la formule

$$\int EIdt.$$

Enfin, si le potentiel et l'intensité sont tous deux variables, il faut mesurer la quantité

$$\int EIdt.$$

De là trois classes de compteurs d'électricité :
Ceux de la première catégorie, qui indiquent

$$\int Idt$$

s'appellent des **COULOMBÈMÈTRES**.

Ceux de la deuxième catégorie, qui indiquent

$$\int Edt$$

s'appellent **VOLTAMPÈMÈTRES**.

Ceux de la troisième catégorie, qui indiquent

$$\int EIdt$$

prennent le nom de **VOLTAMPÈREMÈTRES** ou **WATTMÈTRES**.

Parmi les **COULOMBÈMÈTRES**, dont il existe de nombreux modèles, nous citerons :

1° Ceux d'Edison, qui sont basés sur les phénomènes **ELECTROLYTIQUES**. On sait, en effet, que si on fait

passer un courant électrique dans un **VOLTAMPÈMÈTRE**, l'une des deux **ELECTRODES** se recouvre d'un dépôt métallique, et que si on fait passer ce même courant dans de l'eau acidulée, cette eau est décomposée en ses deux éléments : oxygène et hydrogène.

Les compteurs construits tout d'abord par Edison mettaient à profit le premier de ces phénomènes; il en a fait deux modèles.

Dans l'un, on se contente de faire passer une dérivation du courant dans un voltampère de petite dimension et de peser les électrodes à des intervalles de temps déterminés. On en déduit par le calcul la quantité d'électricité fournie aux consommateurs. Comme on ne fait généralement passer dans le voltampère que la millième partie du courant, on comprend que la moindre erreur dans les pesées des dépôts de cuivre ou de zinc se trouve multipliée par mille.

Dans un autre modèle, basé sur le même principe, les deux électrodes du voltampère sont suspendues aux extrémités d'un fléau de balance. Lorsque l'une de ces électrodes s'est recouverte d'un poids donné de métal, le fléau bascule et change le sens du courant; le dépôt se fait alors à partir de ce moment sur l'autre électrode.

Le fléau, en basculant, met en marche un système d'engrenages analogues à ceux employés dans les compteurs à gaz, et la quantité d'électricité consommée se trouve marquée sur une série de cadrans. Les inconvénients de ce système sont les mêmes que ceux du précédent.

Edison a mis ensuite à profit la décomposition électrolytique de l'eau acidulée. Les quantités de gaz hydrogène et oxygène mis en liberté peuvent servir à indiquer la quantité d'électricité qui s'est écoulée. Les gaz produits élèvent une cloche, et quand celle-ci a atteint une certaine hauteur, une **ÉTINCELLE** électrique met le feu au mélange détonant; il se forme de l'eau et la cloche retombe. Les mouvements de la cloche actionnent un compteur.

M. Thomson et Ferranti, Sprague et Edison, etc., ont construit d'autres modèles basés sur les mêmes principes.

2° Le compteur Cauderay, qui se compose essentiellement d'un mouvement d'horlogerie où se marque une fraction négligeable du courant qu'il s'agit de mesurer et d'un **AMPÈREMÈTRE**. L'aiguille de cet ampèremètre est placée au-dessus d'un cylindre mobile par le mouvement d'horlogerie et portant, implantées à sa surface, une série de petites tiges en acier ou en platine ayant toutes la même dimension. La surface du cylindre est divisée en plusieurs parties correspondant aux déviations de l'aiguille de l'ampèremètre. Lorsque cette aiguille est au zéro, elle se trouve en regard de la partie médiane du cylindre, qui ne porte aucune cheville; lorsqu'elle dévie et marque par exemple 3 ampères, elle vient en regard de la troisième division annulaire du cylindre, sur laquelle se trouvent implantées 3 chevilles; il s'établit ainsi 3 contacts pour chaque tour du cylindre, et chacun de ces contacts fait avancer l'aiguille d'un compteur à engrenages disposé d'une façon analogue à ceux qui servent pour le gaz. Et ainsi de suite : à chaque déviation de l'aiguille de l'ampèremètre correspond donc un nombre déterminé de contacts qui font avancer d'autant l'aiguille du compteur.

Connaissant d'une part le temps que le cylindre met à faire un tour entier, d'autre part le nombre d'ampères indiqué par le compteur, on peut calculer la quantité d'électricité fournie. Exemple : le compteur du temps indique trois heures de fonctionnement, c'est-à-dire trois heures pour le temps pendant lequel

a été utilisé le courant; le compteur des ampères indique le nombre 6, cela veut dire que l'on a utilisé pendant trois heures un courant de 6 ampères. La quantité d'électricité consommée est donc de $6 \times 3 = 18$ ampères-heure. C'est généralement par ampères-heure que se facture l'électricité fournie au consommateur.

3^e Le compteur de M. Lippman, fondé sur le même principe que son AMPÈRÈMÈTRE à mercure. Il se compose d'un récipient en verre ou en mica *à cad,*

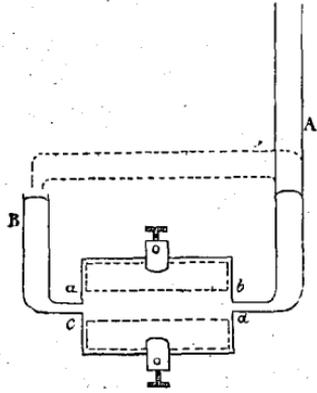


Fig. 1. - Compteur de M. Lippman.

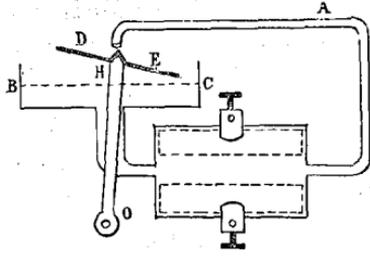


Fig. 2.

Compteur de M. Lippman avec cadran indicateur.

d'une très petite largeur (3/10 de millimètre), rempli de mercure, lequel se trouve ainsi à l'état de lame mince (fig. 1). Cette chambre est placée dans un CHAMP MAGNÉTIQUE puissant. De chaque côté de la lame de mercure, en dessus et en dessous, se trouvent deux lames de platine qui sont placées en circuit sur la conduite principale de distribution. La chambre qui contient le mercure forme la branche horizontale d'un tube en U.

Lorsque le courant passe, le mercure s'élève dans l'une des branches A et s'abaisse dans l'autre B, et cette différence de niveau est proportionnelle à l'intensité du courant.

En établissant une communication entre les deux branches verticales A et B du tube en U, on obtiendra

un écoulement continu du mercure d'une branche dans l'autre, d'autant plus rapide que le courant sera plus intense, de sorte que la quantité de mercure écoulée dans un temps donné sera proportionnelle au nombre de coulombs ayant traversé l'appareil. Un mécanisme particulier permet de marquer sur un cadran la quantité de mercure écoulée (fig. 2). Le mercure, au lieu de tomber directement dans la deuxième branche du tube en U, est reçu dans un auget à pivot D. Quand cet auget est plein, il bascule autour de l'axe O et déverse son contenu dans la branche B du tube en U, qui est surmontée d'une cuvette. A ce moment, un second auget E, semblable et symétrique au premier, vient se présenter pour recevoir le mercure; quand il est plein, il bascule; l'autre vient alors le remplacer, et ainsi de suite. Les oscillations de OII, ainsi obtenues à droite et à gauche, sont limitées par une fourchette agissant sur un mouvement à ancre ordinaire conduisant une minuterie; le premier mobile du système sur lequel agit directement l'ancre porte l'aiguille des unités; les trois autres mobiles portent aussi chacun une aiguille indiquant respectivement les dizaines, les centaines et les mille. Chaque division du cadran des unités correspond à une oscillation complète du système des augets.

4^e Le compteur Ferranti, qui présente de l'analogie avec le précédent, est basé sur une application curieuse des courants électriques circulaires d'Ampère et de leur rotation. L'équipage mobile est remplacé ici par un bain de mercure tournant, suivant une loi bien déterminée. L'appareil se compose donc essentiellement d'une masse de mercure contenue dans une sorte de cuvette et soumise à l'action d'un champ magnétique. Le courant à mesurer entre par le centre du mercure dont il gagne la circonférence, prend un mouvement circulaire sous l'influence du champ magnétique et fait tourner la masse de mercure. Un petit moulinet à ailes de platine plongé dans cette masse se trouve entraîné par son mouvement, et le nombre de tours qu'il exécute dans l'unité de temps donne le nombre de coulombs qui ont traversé l'appareil. La graduation se fait empiriquement.

5^e Les compteurs dans lesquels on a recours à des dispositions mécaniques, tels que les moteurs électriques, dont le nombre de tours, effectué dans un temps donné, indique la quantité d'électricité écoulée. Il existe deux appareils de ce genre imaginés par Edison : l'un à mouvement oscillatoire, l'autre à mouvement rotatif.

Nous citerons aussi le coulombmètre du Dr Hopkinson, qui se compose d'une bobine à gros fil formant un solénoïde et dans laquelle passe le courant à mesurer; le noyau de fer du SOLÉNOÏDE tourne sur son axe sous l'influence d'un petit moteur DYNAMO-ÉLECTRIQUE placé à l'une des extrémités de cet axe. Le noyau du solénoïde est en deux parties : la partie supérieure, seule mobile, est fixée à un régulateur à boules pouvant glisser le long de l'axe, de haut en bas, suivant les variations de vitesse de celui-ci.

Un courant dérivé traverse la dynamo, son armature, puis la portion fixe du noyau, passe par un contact à la partie mobile et arrive au bâti de l'appareil. Quand le régulateur à boules est soulevé, par suite de l'accroissement de la vitesse, le circuit étant coupé, le courant dérivé passant par la dynamo est interrompu. Quand un courant à mesurer passe dans la bobine, les deux parties du noyau s'attirent; l'action magnétique qui produit cette attraction est proportionnelle au carré de l'intensité du courant; d'autre

part, la force centrifuge des boules du régulateur est proportionnelle au carré de la vitesse de révolution. Il y a donc là deux forces agissant en sens opposé : l'une pour maintenir en contact les deux parties du noyau du solénoïde, l'autre pour rompre le circuit en soulevant la partie mobile de ce noyau. Quand le système fonctionne, ces forces contraires se contrebalancent, de sorte qu'il prend une vitesse proportionnelle à l'intensité du courant qui traverse la bobine. Les révolutions de l'axe sont transmises à des cadrans enregistreurs qui donnent, par une simple lecture, la mesure de la quantité d'électricité qui a passé. (*Lun. élect.*)

Il n'existe pas, jusqu'à présent, de **voltmètres** de la deuxième catégorie permettant de mesurer $\int EI$. Il convient cependant de signaler comme pouvant remplir ce but un appareil imaginé par M. de Montaud pour suivre les variations de potentiel pendant la charge et la décharge de ses accumulateurs. Cet appareil, dont nous donnons la vue (fig. 3), se compose d'un GALVANOMÈTRE de M. Marcel Deprez, généralement désigné sous le nom de *galvanomètre à arête de poisson*, et modifié comme suit : sur l'arête de poisson se trouve fixée, avec vis de réglage, une aiguille en aluminium qui se meut absolument comme l'aiguille indicatrice et qui porte à son extrémité une

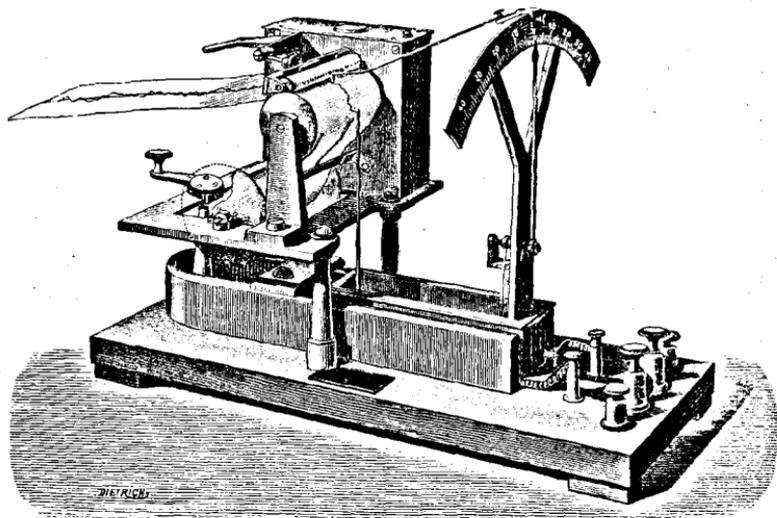


Fig. 3. — Appareil de M. de Montaud pouvant servir de voltmètre.

plume. Sur le haut du cadran est une seconde tige munie d'une vis de réglage et d'une vis de serrage qui lui permet de se placer sur n'importe quelle division du cadran. Au bout, une autre plume sert à tracer sur le papier une ligne de repère. Une plateforme, portée par trois pieds de cuivre et munie à la partie postérieure d'un excentrique, qui permet de l'avancer ou de la reculer tout d'une pièce, porte un cylindre entraînant le papier au moyen d'un mouvement d'horlogerie pareillement fixé sur la plateforme. Un cylindre de pression, placé au-dessus du tambour tournant, facilite l'enroulement du papier, qui est emmagasiné au-dessous. L'appareil est combiné pour obtenir une vitesse d'enroulement de 0^m,02 par minute. Avec cet appareil on peut donc facilement mesurer et enregistrer les variations de la force électromotrice du courant pendant un temps donné.

Parmi les **voltampèremètres** ou **wattmètres**, nous citerons :

1° Le **mesureur d'énergie** de M. Marcel Deprez.

Il consiste en un **ÉLECTRODYNAMOMÈTRE** à deux circuits de **RÉSISTANCE** très différente. Les déviations de l'aiguille de cet appareil sont à chaque instant proportionnelles à EI . En y adjoignant un totalisateur (système Deprez), on possède un instrument donnant la valeur de l'intégrale

$$\int EIdt.$$

autrement dit la quantité d'énergie dépensée dans l'intervalle de temps t .

Les **mesureurs d'énergie** de MM. G. Vernon Boys, Ayrton et Perry, Gisbert Kapp, sont construits sur le même principe. Citons enfin celui de MM. Siemens, qui figurait à l'Exposition d'électricité de Vienne en 1883.

2° Le **compteur d'électricité** du Dr. Aron, qui se compose d'une horloge dont le pendule est muni à son extrémité d'une pièce en fer; ce pendule oscille au-dessus d'un solénoïde par lequel passe le courant

électrique, lequel exerce une influence sur la durée et l'amplitude des oscillations. L'horloge va donc plus lentement qu'une horloge ordinaire, et le retard est fonction de la quantité d'électricité qui passe par le solénoïde.

Cette horloge est combinée avec une horloge ordinaire, de telle sorte que les rouages de chacun de ces instruments agissent sur un compteur placé entre elles et qui indique sur un cadran la différence dans la marche des deux horloges.

COMPTEUR ÉLECTRIQUE DES MÉTIERS À BRODER. — Parmi les compteurs électriques, signalons celui qui est employé dans les métiers à broder (à fil continu) au pantographe, pour compter le nombre de points effectués par l'ouvrier. Le mouvement même de l'appareil qui exécute le point ferme le courant à travers ce compteur et le met en action.

COMPTEUR ÉLECTRO-CHRONOMÉTRIQUE. — Nom donné à tout appareil d'horlogerie dont les aiguilles marchent sous l'action de courants électriques envoyés par une horloge à poids ou à ressort et placée à une certaine distance. A cet effet, cette dernière est munie de commutateurs spéciaux qui ferment ou ouvrent le circuit à des intervalles déterminés. (V. HORLOGERIE ÉLECTRIQUE.)

COMPTEUR DE TOURS. — Appareil destiné à enregistrer le nombre de tours fait par l'arbre d'une machine quelconque dans un temps donné. Cet instrument sert à mesurer la vitesse de l'INDUIT d'une MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE dans les expériences de rendement; il en existe plusieurs modèles.

CONDENSATEUR. — Appareil propre à accumuler et conserver une notable quantité d'électricité. Les condensateurs se composent essentiellement de deux corps conducteurs séparés par une lame isolante; leur construction repose sur le principe de l'ÉLECTRISATION PAR INFLUENCE. Les effets produits s'expliquent de la façon suivante, en admettant l'existence du fluide électrique. (Nous donnons ensuite une théorie plus récente des condensateurs.)

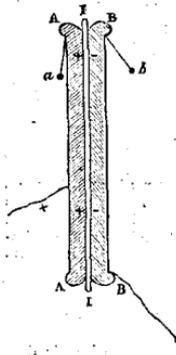


Fig. 1.

attachée à un fil de soie. L'électricité dont les plateaux seront chargés passera sur les balles de liège, qui à l'état ordinaire touchent les plateaux, et aussitôt elles s'écartent. C'est cet écart des balles de liège qui nous avertira de la présence du fluide électrique sur les plateaux. Concevons que le plateau B communique avec le sol, mais que le plateau A soit isolé et ne communique qu'avec une machine électrique, de

laquelle il reçoit par exemple du fluide positif. Dans cette disposition, A est nommé le plateau collecteur, et B le plateau condensateur. La suite fera voir la raison de ces dénominations. L'électricité positive est donc répandue à peu près uniformément sur toute la surface du plateau A. Cette électricité se compose par influence le fluide neutre du plateau B; elle attire sur la face intérieure, près de la lame de verre, le fluide négatif, et repousse vers la face postérieure le fluide positif, qui s'écoule dans le sol. Pour bien nous rendre compte de l'effet que cette opération continuée peut avoir, imaginons qu'elle se fasse en plusieurs temps. D'abord, supprimons la communication entre le plateau B et le sol. Comme nous l'avons dit, le plateau A reçoit de l'électricité positive, et la charge atteint son maximum quand la tension sur ce plateau est égale à celle de la machine. Le pendule *a* s'écarte; le pendule *b* s'écarte aussi, mais moins que *a*, car il y a moins de fluide positif sur la face extérieure du plateau B que sur la face extérieure du plateau A, où la tension est maximum. On a donc, après une première charge, une certaine quantité d'électricité positive en A et une certaine quantité d'électricité négative en B. Y a-t-il un moyen d'augmenter ces deux quantités?

Séparons le plateau A de la machine, et faisons communiquer le plateau B avec le sol. Le fluide positif de ce dernier plateau s'écoule dans le sol, et l'on voit aussitôt le pendule *b* s'abaisser. Il ne reste donc plus sur le plateau B que du fluide négatif accumulé près de la lame de verre, et ce fluide, affranchi maintenant de l'influence de l'électricité positive qui vient de s'écouler dans le sol, attire avec plus d'énergie le fluide positif du plateau A, l'accumule en plus grande quantité près de la lame de verre, et provoque ainsi une diminution de la quantité d'électricité sur la face extérieure du plateau A. Le pendule *a* baisse donc. Mais alors la tension sur la face extérieure du plateau A est moindre que sur la machine; ce plateau est, par conséquent, apte à recevoir une nouvelle quantité d'électricité.

Cette deuxième charge, si on la fait arriver, déterminera une nouvelle décomposition de ce qui reste d'électricité neutre sur le plateau B, et, par suite, une plus grande accumulation de fluide négatif près de la lame isolante. Si alors la communication est rétablie entre B et le sol, B perd son fluide positif et garde seulement son fluide négatif, qui agit comme tout à l'heure sur le plateau A, et le rend encore apte à recevoir une troisième charge. En continuant cette série d'opérations, on voit qu'il s'accumulera de l'électricité positive sur le plateau A, et de l'électricité négative sur le plateau B, tant que la tension du fluide sur la face extérieure du plateau A sera moindre que celle de la machine.

Il ne faudrait pourtant pas croire que chacun des deux plateaux ne contiendra qu'une seule électricité, car la décomposition des deux fluides n'est jamais complète. Il y aura toujours, sur les faces extérieures des deux plateaux, c'est-à-dire sur celles qui ne touchent pas la lame de verre, une mince couche de fluide de nom contraire à celui qui, sur le même plateau, est accumulé contre la lame. Ainsi, dans notre expérience, il reste un peu de fluide négatif sur la face extérieure du plateau A, et un peu de fluide positif sur la face extérieure du plateau B.

Considérons maintenant le plateau A. A mesure qu'on s'éloigne de la lame de verre, l'influence du plateau B diminue, et il doit se rencontrer, sur le plateau A, une région qui est tout à fait soustraite à cette influence, et où, par conséquent, la charge est telle que le plateau A l'aurait reçue, à son maximum

de tension, s'il eût été seul, s'il n'y eût pas eu le plateau B. Sur ce point, l'électricité du plateau A est dite *libre*, et l'on a appelé *force condensante* le rapport qui existe entre la quantité totale d'électricité que contient le plateau collecteur, et la quantité d'électricité qui s'y trouve libre. Ce rapport dépend de la forme, de l'étendue, de la distance et de la conductibilité électrique des plateaux; il ne peut donc être représenté par une formule unique, et les expériences de M. Riess n'ont fait que confirmer les prévisions de la théorie, en faisant voir que la distribution des fluides sur les plateaux varie en chaque point, et qu'elle ne dépend pas seulement des circonstances que nous avons énumérées, mais encore de la disposition et de la direction du fil qui met le condensateur en communication avec le sol.

Dans la *fig.* ci-dessus, placez la lame de verre et les deux plateaux sur des supports isolants qui puissent être éloignés ou rapprochés l'un de l'autre, et de façon que la lame de verre puisse être enlevée, auquel cas elle se trouve remplacée par une lame d'air, et vous aurez le condensateur d'Épinus. Toutefois, quand les deux plateaux ne sont séparés que par une lame d'air, cette lame, bien avant qu'on ait atteint le maximum de charge, ne suffit plus à empêcher la recombinaison des fluides. Cette recombinaison s'effectue même lorsque la lame est en verre peu épais, si la charge est forte; les fluides la traversent en la perforant.

Les condensateurs les plus employés sont la **BOUTEILLE DE LEYDE** et les **BATTERIES ÉLECTRIQUES**.

Les électricités accumulées sur les deux plateaux s'écoulent peu à peu, spontanément, par l'air humide. Pour les faire disparaître instantanément, on se sert d'un arc métallique, nommé **EXCITATEUR**, formé de deux arcs réunis par une charnière et munis de manches isolants que l'on tient à la main. Les deux extrémités de l'excitateur étant en contact avec les plateaux, les deux électricités se combinent instantanément à travers le circuit, en produisant une vive étincelle. Quelquefois on effectue la décharge par contacts successifs, en mettant les deux plateaux alternativement en communication avec le sol. La manière dont nous avons expliqué les mouvements de l'électricité dans le chargement du condensateur suffit à les faire comprendre encore dans les différents modes de décharge.

Si l'on sépare les deux plateaux de la lame de verre interposée, il semble que chacun doive retenir, répandus sur toute sa surface, l'électricité dont il est pourvu. Cette prévision n'est pas justifiée par les faits; car l'électroscope accuse sur les plateaux des quantités d'électricité à peine appréciables, tandis que les faces de la lame de verre en sont fortement chargées. Si l'on rétablit la lame entre les deux plateaux, l'électricité réapparaît sur ceux-ci, et l'on peut obtenir une décharge presque aussi forte que celle qu'on obtenait avant la séparation des appareils. L'électricité est donc fixée sur la lame isolante, et le rôle des plateaux paraît se borner à recueillir en chaque point de cette lame l'électricité qui s'y trouve, pour la conduire à l'extérieur sur les corps mis en contact.

Théorie des condensateurs. — Comme on vient de le voir, un condensateur se compose d'un corps conducteur entouré d'une enveloppe métallique. Le corps forme l'armature intérieure, et l'enveloppe l'armature extérieure.

On verra à l'article **POTENTIEL** que si l'on désigne par V et V' les potentiels des deux armatures,

par q une masse élémentaire d'électricité et r sa distance à une autre masse, on doit avoir

$$V - V' = \Sigma \frac{q}{r} - \Sigma \frac{q'}{r'}$$

$\Sigma \frac{q}{r}$ étant le potentiel produit par l'électricité de l'armature C (*fig. 2*) en un point quelconque de sa surface, $\Sigma \frac{q'}{r'}$ le potentiel produit au même point par l'électricité de l'armature extérieure.

Remarquons, tout de suite, que l'équilibre subsistera si l'on suppose toutes les masses électriques répandues sur les deux surfaces multipliées par un même nombre. La différence $V - V'$ est donc proportionnelle à la charge Q du condensateur, et en désignant par S un coefficient constant particulier au condensateur, on peut poser :

$$V - V' = \frac{Q}{S}$$

Si l'armature extérieure est mise en relation avec le sol, ce qui a lieu d'ordinaire, il vient $V' = 0$; d'où

$$V = \frac{Q}{S}$$

Le coefficient S n'est autre que la **CAPACITÉ ÉLECTROSTATIQUE** du condensateur. Il est, en général, d'autant plus grand que les armatures du condensateur sont plus étendues et plus rapprochées l'une de l'autre.

Si l'armature extérieure vient à être enlevée, on a alors $V = \Sigma \frac{q}{r}$.

Le rapport de la capacité d'un condensateur à celle qu'il conserverait si on lui enlevait son armature extérieure, est appelé **puissance condensante**.

La capacité d'un condensateur ne peut généralement être déterminée que par l'expérience. Néanmoins, on peut le faire à priori dans certains cas où les surfaces des armatures sont susceptibles d'être définies géométriquement.

Sphère isolée. — Le potentiel d'une sphère isolée est égal à $\frac{Q}{r}$, en désignant par Q sa charge et r son rayon.

Sa capacité électro-statique S sera donnée par la formule

$$S = \frac{Q}{V} = r.$$

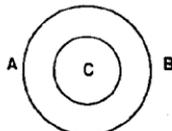
Sphères concentriques. — Le potentiel V de la sphère intérieure est, en supposant la sphère extérieure en relation avec le sol et en désignant par R son rayon et r celui de la sphère intérieure

$$V = \frac{Q}{r} - \frac{Q}{R} = Q \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right).$$

d'où l'on tire pour la valeur de la capacité S du condensateur

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{Rr}{R - r}.$$

Cylindres concentriques. (*V. BOUTEILLE DE LEYDE.*)



Condensateurs plans. — On peut déduire leur capacité de celle des condensateurs cylindriques en supposant que le rayon des cylindres devienne infini.

On trouve ainsi, en désignant par A la surface de chacune des deux armatures et d leur distance

$$S = \frac{A}{4\pi d}$$

Nous avons supposé jusqu'ici que le DIÉLECTRIQUE du condensateur était toujours constitué par une lame d'air. S'il est formé par une substance quelconque, la capacité électro-statique du condensateur se trouvera multipliée par la CAPACITÉ INDUCTIVE SPÉCIFIQUE du nouveau diélectrique. Nous avons admis, de plus, que l'étendue des armatures était assez grande pour qu'on pût supposer la densité électrique constante en tous leurs points.

Or, cette densité est toujours plus grande sur les

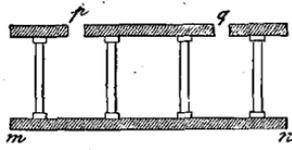


Fig. 3.

bords. Pour obvier à cette inconvénient, M. Thomson a eu recours à la disposition suivante dans la construction de ses condensateurs étalons (fig. 3).

Ceux-ci sont formés par deux disques parallèles. Le disque inférieur mn en relation avec le sol a un diamètre beaucoup plus grand que celui du disque supérieur pq . Mais ce dernier est entouré d'un anneau ayant une largeur égale à la différence des diamètres, et n'étant pas en communication électrique avec le disque.

Lorsqu'on veut procéder à une mesure, on met l'anneau en même temps que le disque supérieur en relation avec la source d'électricité. Au point de vue de la distribution de l'électricité, les choses se passent comme si le disque supérieur et son anneau ne faisaient qu'un. Mais quand on veut mesurer une capacité, celle du condensateur se trouve réduite proportionnellement à la surface du disque supérieur où la densité se trouve très sensiblement constante. Les formules trouvées plus haut peuvent alors être appliquées rigoureusement.

Cet anneau a reçu le nom d'*anneau de garde*. Nous le trouverons encore employé dans l'ÉLECTROMÈTRE absolu de sir W. Thomson.

Condensateurs pour mesures électriques et pour télégraphie sous-marine. — En dehors des condensateurs appelés *condensateur d'Apinus*, *bouteilles de Leyde*, ou *jarres électriques*, on se sert de condensateurs formés d'une série de lames conductrices séparées les unes des autres par des lames isolantes de faible épaisseur et réunies de telle sorte que les lames conductrices de rang pair et celles de rang impair communiquent respectivement entre elles (fig. 4), ce qui revient à construire un condensateur d'Apinus qui, sous un volume relativement restreint, offre une très grande surface de condensation.

On appelle *capacité* d'un tel condensateur, la quantité d'électricité au potentiel d'un volt qu'il peut accumuler.

Ainsi, un condensateur qui peut accumuler un coulomb d'électricité au potentiel d'un volt a une capacité d'un FARAD. Mais pour construire un condensateur ayant la capacité d'un farad, il faudrait une surface de condensation tellement grande que l'appareil serait incommode, et comme d'ailleurs, dans la pratique, on n'a pas besoin d'une capacité aussi grande, on ne fait que des condensateurs d'un ou plusieurs MICROFARADS.

Ces derniers appareils servent AUX MESURES ÉLECTRIQUES et dans la TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE pour augmenter la vitesse de transmission. On en a fait dernièrement des applications dans les recherches sur la transmission de la parole à grande distance. (V. TÉLÉPHONIE.)

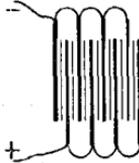


Fig. 4.

Condensateur chantant. — On désigne ainsi un condensateur à feuilles d'étain dont les armatures ne sont ni collées ni comprimées. Lorsqu'on met les deux armatures de ce condensateur en relation avec le circuit induit d'une BOBINE D'INDUCTION dont le fil inducteur est intercalé, ainsi qu'un MICROPHONE interrupteur, dans le circuit d'une pile, il suffit de chanter ou de jouer un air de musique devant le microphone pour que le condensateur répète ce chant ou cet air de musique, mais il ne peut pas reproduire la parole.

Condensateur parlant. — Si l'on charge préventivement le condensateur chantant en intercalant dans le circuit induit de la bobine quelques éléments de pile, on le transforme en condensateur parlant, qui peut être employé comme récepteur téléphonique (V. TÉLÉPHONIE A GRANDE DISTANCE). — La charge du condensateur peut se faire aussi à l'aide de la pile, qui actionne le microphone en prenant sur elle une DÉRIVATION. — Le premier procédé a été imaginé par M. Dunaud, et le second par M. le Dr Herz.

CONDENSATION ÉLECTRIQUE. — Accroissement de charge électrique qui s'obtient à l'aide du CONDENSATEUR.

CONDENSATION DES FUMÉES ET POUSSIÈRES par l'étincelle électrique. — Les poussières en suspension dans l'atmosphère se déposent sous l'influence de DÉCHARGES ÉLECTRIQUES. (Expérience de M. Lodge, 1884.) M. Walker, de Londres, a proposé d'appliquer cette curieuse propriété à la condensation des fumées du plomb volatil des fourneaux, et a procédé à des essais qui ont réussi.

CONDUCTEUR ÉLECTRIQUE. — On désigne sous ce nom un fil métallique ou un CABLE qui sert à conduire l'électricité des appareils de production aux appareils d'utilisation.

1° **Fils.** — Les différents métaux employés pour fabriquer ces fils sont : le fer, le cuivre, les bronzes phosphoreux, silicieux et chromés.

Les fils de fer servant à l'établissement des lignes télégraphiques et téléphoniques aériennes ont des diamètres variant, suivant la nature des lignes, de 0^m,003 à 0^m,006. Le fer doit être recuit et GALVANISÉ afin de prolonger sa durée en l'empêchant de s'oxyder.

Les fils de bronze phosphoreux, silicieux et chromés commencent à être employés de préférence aux fils de fer, à cause des avantages suivants : leur CONDUCTIBILITÉ est beaucoup plus grande ; leur résistance

à la traction est supérieure à celle des fils de fer et peut égaler celle des fils d'acier; on peut employer ces fils sous des diamètres beaucoup plus faibles que le fer, d'où résulte une diminution appréciable des poids et par suite des frais de pose; en service, ils résistent aux agents corrosifs des atmosphères vicieuses et, à cause de leur faible diamètre, ils offrent moins de prise au vent, au verglas et à la neige; après leur mise hors d'usage pour un motif quelconque, ils conservent encore une certaine valeur intrinsèque.

Les diamètres les plus usités sont de 0^m,001 à 0^m,0014 pour les lignes téléphoniques et de 0^m,001 à 0^m,002 pour les lignes télégraphiques. On emploie aussi des fils de bronze de 0^m,003 à 0^m,005 pour l'éclairage électrique.

Le règlement de service international ne prévoyait autrefois pour les fils conducteurs internationaux que l'emploi de fils de fer galvanisés d'un diamètre minimum de 0^m,005. La révision de 1885 admet au contraire que l'on pourra employer des conducteurs d'un autre métal ou alliage (notamment le bronze silicieux), sous la condition qu'ils présentent au point de vue de la solidité et de la conductibilité électrique des garanties équivalentes à celles du fil de fer de 0^m,005 de diamètre.

2^e Câbles. — En ce qui concerne les câbles, le cuivre rouge est à peu près le seul métal employé; comme partie conductrice on *ème*. (V. CABLES, pour tous les détails relatifs à leur construction.)

Propriétés des métaux employés pour la fabrication des conducteurs.

— **Cuivre.** — Le cuivre pur est aussi conducteur que l'argent, mais la présence de matières étrangères diminue beaucoup le pouvoir conducteur des cuivres ordinaires.

On atteint aujourd'hui facilement pour les cuivres commerciaux des conductibilités de 99% et au-dessus rapportées au cuivre pur.

La conductibilité d'un cuivre par rapport au cuivre pur se calcule en sachant que 1 mètre de fil de cuivre pur pesant 1 gramme a une résistance de 0,144 ohm à la température de 0° centigrade. Si l mètres d'un fil de cuivre pesant P grammes ont une résistance R_0 à la température de 0°, la conductibilité de ce fil par rapport au cuivre pur sera donnée par la relation :

$$C = \frac{14,4 \times P}{R_0 l}$$

La résistance R_0 se déduit de la résistance R_1 à la température t par la relation $R_1 = R_0 (1 + \alpha t)$ dans laquelle $\alpha = 0,00388$ ou approximativement 0,004.

La comparaison se fait quelquefois à la température de 15°,5 centigrades (60° Fahrenheit), et, dans la télégraphie sous-marine, toujours à la température de 24° centigrades (75° Fahrenheit).

À la température de 15°,5, 1 mètre de fil de cuivre pur pesant 1 gramme a une résistance de 0,1425 ohm, et à la température de 24° centigrades de 0,1475 ohm.

Dans les applications télégraphiques, on prend 8,89 comme densité du cuivre; sa charge de rupture est d'environ 28 à 29 kilogrammes par millimètre carré de section.

Les fils de cuivre employés pour la télégraphie sont ronds, carrés, ovales ou triangulaires. Les fils ronds ont des diamètres depuis 0^m,010 jusqu'à 0^m,0005.

Fer et Acier. — Le fil de fer galvanisé est à peu près exclusivement employé pour la construction des lignes télégraphiques aériennes. La densité du fer est d'environ 7,79; on admet, comme règle approximative, que le fil de fer galvanisé de 0^m,004 de diamètre pèse 109 kilogrammes par kilomètre (au lieu de 98).

On admet généralement que le fer employé dans la télégraphie a sept fois la résistance du cuivre pur, ce qui, à la température de 15°,5, met à 10 ohms environ la résistance d'un kilomètre de fil de 0^m,004.

En Amérique, on spécifie la conductibilité du fil de fer galvanisé en *ohm-mille*: c'est le poids que doit avoir 1 mille ou 1.609 mètres du fil considéré pour que sa résistance soit de 1 ohm. Le maximum de résistance admise pour 1 kilomètre de fil de 0^m,005 et pour 1 kilomètre de fil de 0^m,004 est respectivement de 6,2 et 9,7 ohms.

En 1881, les forges de Châtillon et Commentry avaient exposé des types de fils de fer pour lignes télégraphiques provenant les uns de fers au coke, les autres de fontes au bois et affinées au bois. Ces fils se divisent en deux qualités : la *qualité ordinaire*, dont la traction de rupture par millimètre carré varie de 40 à 45 et de 44 à 48 kilogrammes, et la résistance électrique (de 1.000 mètres de fil de 0^m,004) de 10,23 à 10,01 ohms; la *qualité extra*, dont la traction de rupture par millimètre carré varie de 38 à 42 et de 40 à 48 kilogrammes, et dont la résistance électrique (de 1.000 mètres de fil de 0^m,004) est de 10,34 à 10,84 ohms.

L'acier présentant à la traction une résistance supérieure à celle du fer, on peut, en l'employant dans la construction des lignes, augmenter la portée de ces lignes et diminuer par suite le nombre des appuis et des ISOLATEURS. Les fabricants cherchent à obtenir des aciers d'une grande résistance mécanique et dont la conductibilité se rapproche de celle du fer. En 1880, l'Administration a essayé les premiers fils d'acier des forges de Châtillon et Commentry. Ces fils avaient 0^m,003 à 0^m,004 de diamètre; ils présentaient respectivement une traction de rupture par millimètre carré de 71 et 85 kilogrammes, et une résistance électrique (résistance de 1.000 mètres de fil de 0^m,004) de 13,87 et 14,14 ohms.

On emploie pour la construction des lignes téléphoniques aériennes des fils d'acier dont la résistance à la rupture atteint 140, 150 et même 200 kilogrammes par millimètre carré. Les usines de Châtillon et Commentry exposaient en 1884 des fils d'acier de 0^m,002 pour lignes téléphoniques présentant des résistances par millimètre carré de 80, 110 et 120 kilogrammes et ayant une conductibilité moitié de celle du fer.

Les usines du Creusot fabriquent des fils de *metal homogène* ou acier doux galvanisé ayant une conductibilité au moins égale à celle des bons fils de fer, mais dont les propriétés mécaniques seraient plutôt inférieures, d'après les expériences faites par l'Administration des lignes télégraphiques.

Outre son emploi dans la construction des lignes aériennes, le fil de fer sert encore, dans la télégraphie, à former les ARMATURES DES CABLES SOUTERRAINS et sous-marins. Dans la construction des PARATONNERRES on emploie des fils très minces.

L'Angleterre distingue quatre qualités de fer désignées sous les noms de *fil best*, *best-best*, *extra-best* et *charcoal* (au bois). — Le premier est le fil ordinaire puddlé; le second est fait avec du fer de qualité supérieure; le troisième s'obtient par l'introduction du fer au bois dans le fer *best-best*.

En France, les cahiers des charges des télégraphes exigent du fer au bois réduit, tandis que le Post-Office y substitue maintenant le fer *best-best*: il n'emploie plus le fer au bois que pour le fil de ligature, fil n° 16 de la jauge de Birmingham (0^m,00165).

On a cherché à utiliser les qualités respectives du cuivre et de l'acier en associant ces deux métaux, et on a fait ainsi des conducteurs télégraphiques dési-

gués en Amérique sous le nom de *fil compound*. Ce fil se compose d'une âme d'acier recouvert de cuivre par la galvanoplastie.

En désignant par A la résistance du fil d'acier, par C celle de l'enveloppe de cuivre, et par R celle du fil composé, on a

$$R = \frac{AC}{A+C}$$

A l'aide de cette formule, on peut, connaissant la résistance d'un fil d'acier, trouver le poids du cuivre à ajouter pour que le fil composé ait une résistance donnée.

Le fil composé se fabrique actuellement en enroulant un ruban de cuivre autour d'un fil d'acier étamé, passant le tout à la filière et soudant par immersion dans un bain d'étain. Ce fil, qui allie une grande ténacité à une conductibilité suffisante avec un poids faible, procurerait une économie notable dans le transport et une grande simplification dans la construction; malheureusement, les expériences n'ont pas suffisamment prouvé que l'adhérence des deux métaux doive se maintenir.

Conditions imposées par l'Administration. — L'Administration exige que les fils de fer satisfassent à des épreuves ayant pour but de déterminer leur coefficient de rupture et leur résistance aux efforts de flexion.

Bronze phosphoreux. — La conductibilité électrique du bronze phosphoreux est assez variable; voici le résultat de quelques essais faits à Paris à la tempéra-

ture de 0° centigrade. (D'après les rapports du jury de l'Exposition d'électricité de 1881.)

DIAMÈTRE en millimètre	TRACTION de rupture par mill. carré	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE	
		de 1 000 m. de fil de bronze phosphoreux de 1 mm.	de 1 000 m. de fil de fer de 1 mm.
	kil.		
0,815	55,55	164,834	161,840
1,24	39,13	99,325	161,840
4,46	53,50	100,974	161,840
2,34	53,50	97,933	161,840

Bronze silicieux et Bronze chromé. — Depuis l'Exposition de 1884, on a perfectionné la fabrication des fils de bronze phosphoreux et l'on a introduit dans la pratique courante des fils de bronze silicieux (1) et de bronze chromé ou chromeux.

Ces fils se divisent en deux catégories : 1° les fils à grande résistance mécanique et à basse conductibilité pour lignes téléphoniques; 2° les fils à résistance mécanique beaucoup moins élevée, mais de grande conductibilité, pour lignes télégraphiques et distribution d'électricité pour éclairage ou transmission de force.

Nous donnons ci-dessous, pour les trois sortes de bronze (bronze phosphoreux, silicieux et chromé), des renseignements relatifs à leurs propriétés mécaniques et électriques.

	BRONZE PHOSPHOREUX		BRONZE SILICIEUX		BRONZE CHROMÉ	
	télégraphiq.	téléphonique.	télégraphiq.	téléphonique.	télégraphiq.	téléphonique.
Résistance mécanique à la rupture par millimètre carré de section.	46 k.	90 k.	35 à 45 k.	75 k.	45 k.	75 k.
Résistance électrique en ohms au kilomètre.	"	60	ohms	ohms	ohms	ohms
Conductibilité par rapport au cuivre pur (pour 100).	"	30	21,28	65	20,88	60
	"		97	32	98,5	31

A l'aide de ces renseignements on peut calculer la résistance mécanique et la résistance électrique des fils de différents diamètres; il suffit de multiplier par les coefficients indiquées ci-dessus la section en millimètres carrés du fil considéré.

CONDUCTEUR DES MACHINES ÉLECTRO-STATIQUES. — On désigne sous le nom de conducteurs les cylindres métalliques isolés faisant partie d'une machine produisant de l'électricité statique. (V. MACHINES.)

CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE. — « En 1727, raconte M. Pouillet, Gray, physicien anglais, après avoir électrisé un tube de verre ouvert par les deux bouts, voulut savoir s'il obtiendrait les mêmes résultats en fermant le tube avec un bouchon de liège; car, à cette époque, la science était encore si peu avancée, que l'on essayait de tout au hasard... Or, en faisant l'expérience, Gray s'aperçut avec un grand étonnement que le bouchon lui-même était devenu

électrique, tandis qu'il ne l'est jamais quand on le frotte directement. Une tige de métal, plantée dans le bouchon, devint électrique comme lui; une tige plus longue le devint pareillement, et l'habile observateur ne se lassait pas de répéter des expériences aussi curieuses. Voyant qu'il ne pouvait pas, dans son cabinet, ajuster au bouchon des tiges assez longues, il imagine de monter au premier étage, et de

(1) Le bronze silicieux se produit en préparant d'abord du cuivre silicieux, c'est-à-dire en produisant la désoxydation du cuivre par le silicium, qui a la propriété de le débarrasser complètement de son propre oxyde, l'oxydure, dont les moindres traces diminuent considérablement la conductibilité électrique. Le cuivre ainsi préparé atteint un degré de conductibilité électrique supérieur à tout autre cuivre. Il est facile de passer ensuite du cuivre silicieux au bronze silicieux, dont la résistance mécanique est beaucoup plus considérable avec une conductibilité peu inférieure. On procède, pour sa fabrication, en faisant agir sur un mélange de cuivre et de fluosilicate de potasse un alliage de sodium et d'étain appelé *étain sold*.

suspendre à son tube électrique un fil de métal qui descende jusqu'au sol; il frotte le tube, et un de ses amis présente des corps légers à l'extrémité du fil: chose surprenante! les corps légers y sont vivement attirés. On répète l'expérience au second et au troisième étage, et toujours avec le même succès. Donc le métal a la propriété de transmettre l'électricité. »

Les corps doués de cette propriété sont dits *bons conducteurs*; les corps qui en sont dépourvus sont dits *mauvais conducteurs*. Les premiers ont été longtemps appelés *ANÉLECTRIQUES*, parce que, croyait-on, ils ne pouvaient s'électriser par le frottement, et les seconds *POU-ÉLECTRIQUES* parce qu'ils sont susceptibles d'électrisation. Cette distinction s'explique par une différence de conductibilité; car, si un corps est bon conducteur, l'électricité développée sur lui n'y reste pas, elle se transmet immédiatement à la main qui le tient ou aux corps environnants, à moins qu'il ne soit isolé, c'est-à-dire entouré et supporté par des substances incapables de conduire l'électricité. Un corps anélectrique est donc un corps qui, par sa faculté conductrice, ne peut garder son électricité. Si, au contraire, un corps s'électrise facilement et garde son électricité, ce n'est point parce qu'il possède une force particulière productrice d'électricité, parce qu'il est *idio-électrique*, mais simplement parce que, étant mauvais conducteur, il conserve sur sa surface l'électricité qu'on y a développée. Les corps mauvais conducteurs sont souvent appelés *corps isolants*, parce qu'on les emploie comme supports pour séparer, *isoler* du sol les corps bons conducteurs sur lesquels on veut conserver l'électricité qui, sans cette précaution, s'écoulerait au dehors.

Voici la liste de quelques substances rangées par ordre de conductibilité décroissante: métaux, charbon calciné, plombagine, acides, solutions salines, minerais métalliques, eau, végétaux, animaux, flamme, vapeur d'eau, air raréfié, verre pulvérisé, fleur de soufre, oxydes secs, glace, phosphore, chaux, craie, lycopode, caoutchouc, camphre, marbre, porcelaine, bois sec, gaz secs, papier, plumes, cheveux, laine, soie, diamant, mica, verre, jais, cire, soufre, résines, ambre, gomme laque.

Il n'est pas de corps qui soit absolument isolant, c'est-à-dire qui ne conduise un peu l'électricité. Mais les plus isolants peuvent devenir bons conducteurs sous l'influence de l'humidité. De là vient, lorsqu'on veut conserver le fluide électrique sur un corps, la nécessité de frotter les isolants avec des linges chauds afin de les dessécher. Le pouvoir conducteur s'accroît avec la température, au point que les corps isolants peuvent devenir conducteurs lorsqu'on les chauffe suffisamment. Il est encore souvent modifié par la structure et l'état moléculaire: le verre et le soufre deviennent bons conducteurs lorsqu'on les réduit en poudre. Le diamant et le charbon de bois isolent, tandis que l'anthracite et le charbon calciné conduisent bien. L'eau et sa vapeur conduisent, la glace sèche isole. La cire et le suif conduisent à l'état liquide, mais non à l'état solide.

La conductibilité électrique dépend, comme on voit, d'un assez grand nombre de circonstances, et il est de la plus grande importance de les connaître, aujourd'hui que l'emploi de l'électricité comme moteur est devenu si général. L'employé du télégraphe, dans ses bureaux, ne doit pas oublier, en manœuvrant les éléments des piles, que son corps, en qualité de bon conducteur, est exposé à recevoir des décharges qui sont pour le moins toujours désagréables. Il doit savoir quelles sont les substances qui peuvent arrêter un courant d'électricité dans son mouvement, et quels sont les accidents chimiques ou calorifiques qui peu-

vent enlever ou communiquer à un fil la propriété de transmettre l'électricité.

Des expériences nombreuses et variées ont fait voir que l'électricité ne se répand pas, comme la chaleur, dans toute la masse des corps conducteurs, mais qu'elle s'accumule seulement à leur surface, soit uniformément, soit irrégulièrement, selon la forme du corps. Cette particularité, qui dépend non du pouvoir conducteur, mais de la répulsion qu'un fluide libre exerce sur lui-même, est étudiée en mot *ÉLECTRIQUE*.

À l'égard des mauvais conducteurs, l'électricité se propage dans toute leur masse d'une manière qui rappelle la diffusion de la chaleur dans les mêmes circonstances. Si un corps chargé d'électricité est plongé seulement dans l'air, qui est mauvais conducteur, les molécules de l'air qui touchent le corps lui enlèvent de l'électricité en s'électrisant elles-mêmes; alors elles sont repoussées, et d'autres molécules viennent au contact opérer une nouvelle soustraction de fluide. Au bout de quelque temps, le corps se trouve dépouillé de toute son électricité; mais cette électricité ne profite pas, comme dans le cas de la chaleur, à l'air ambiant ou aux corps voisins. Elle est perdue, ou du moins il n'a pas été possible jusqu'à présent d'en constater la présence en dehors de la substance qu'elle a quittée. C'est pourquoi les physiciens ont appelé ce phénomène *perte d'électricité*, et non « transmission », puisqu'on ne sait pas où l'électricité est transmise.

De même que l'air, les corps solides isolants enlèvent aux corps électrisés qu'ils touchent une certaine quantité de fluide, qui se répand autour des points de contact et pénètre dans l'intérieur à une distance plus ou moins grande, variable suivant la nature des substances éprouvées. Mais on ne dit pas pour cela que le corps isolant soit électrisé, et le fluide est encore considéré comme perdu. Pour être en mesure d'évaluer la quantité d'électricité que peut transmettre un conducteur donné, il faut donc connaître d'abord celle qu'il perd par l'air qui l'entoure et par les appareils qui le supportent.

1° Déperdition de l'électricité dans l'air et dans les gaz. — Cette question a été étudiée par Coulomb, au moyen de sa balance électrique, et ensuite par M. Matteucci, à l'aide d'une balance fondée sur le même principe que celle de Coulomb. Coulomb a d'abord trouvé que, dans l'air, la déperdition augmente avec l'humidité, et que, pour un même état de l'air, le rapport de la quantité d'électricité perdue à la quantité qui reste est constant. Les pertes forment, par conséquent, une progression géométrique décroissante, quand les temps croissent en progression arithmétique. C'est ce qui a déjà lieu pour la chaleur. Mais, en variant toutes les circonstances d'une expérience que Coulomb n'avait pas étendue au delà des cas les plus communs, M. Matteucci est arrivé aux conclusions suivantes, qui ne sont pas aussi générales que les lois de Coulomb, et qui même les contredisent quelquefois: 1° la déperdition de l'électricité diminue quand on agite le gaz; 2° dans les gaz secs et purs, et pour certaines limites de la tension électrique, la déperdition est constante; 3° au delà d'une certaine tension, l'électricité négative se perd plus rapidement que la positive; 4° la perte augmente avec l'humidité; 5° dans l'air sec la perte augmente avec la température; 6° plus l'air sec est raréfié, plus est lente la déperdition de l'électricité.

Nous croyons devoir citer ici les conclusions d'une communication faite en 1886 à l'Académie des Sciences par M. Luvini sur la conductibilité des gaz et des

vapeurs : « Il résulte d'expériences ultérieures, faites par MM. Becquerel, Grove, Gauguin, Matteucci et autres, que les gaz et les vapeurs sont très mauvais conducteurs de l'électricité. Malgré cela, on répète souvent que l'air humide et les vapeurs conduisent l'électricité. C'est une erreur. Les gaz et les vapeurs, sous quelque pression que ce soit et à toutes les températures, sont des isolants parfaits; ils ne peuvent pas s'électriser par le frottement soit entre eux, soit avec les corps solides ou les liquides.

« Ces assertions sembleraient contradictoires avec les faits que l'on observe; on sait, en effet, qu'il est fort difficile d'obtenir des étincelles d'une machine électrostatique ou de conserver une charge sur les quadrants d'un appareil de mesure tel qu'un électromètre lorsqu'on opère dans une atmosphère humide. Mais le fait peut s'expliquer sans admettre la conductibilité de l'air chargé d'humidité; il suffit de remarquer que dans ce cas les supports isolants sont recouverts d'une couche d'humidité qui rend conductrice la surface des isolants, et c'est par cette couche que s'écoule alors l'électricité. »

M. Luvinj a soumis à l'expérience l'air saturé de vapeur d'eau à différentes températures, de 100 à 160°; l'hydrogène et l'acide carbonique non desséchés, mais tels qu'ils sortent du bain qui les produit; la vapeur de mercure à 100°; les vapeurs de sel ammoniac; l'air échauffé par de la braise ou par la flamme d'une bougie, la fumée d'une bougie éteinte, les fumées de sucre, de camomille, d'encens, etc. Aucun de ces fluides n'a donné le moindre indice de conductibilité.

« On croit généralement, ajoute M. Luvinj, que les gaz raréfiés, ou à des températures très élevées, sont conducteurs. C'est une erreur qui doit son origine à ce que l'on a confondu la résistance à la décharge disruptive avec la résistance à la décharge conductive. »

M. Luvinj termine en faisant remarquer que l'on devra dorénavant rejeter comme erronées toutes les théories relatives à l'électricité des machines, de l'air ou des nuages, dans lesquelles on devrait admettre que l'air humide est conducteur ou que les gaz et les vapeurs peuvent s'électriser par frottement.

2° Déperdition de l'électricité par les corps solides isolants. — La propagation de l'électricité dans les corps solides isolants présente des différences de quantité et de vitesse qui dépendent de la nature de la substance, de ses dimensions, de sa forme, de l'état hygrométrique de l'air, de la température, et enfin de la charge électrique du corps conducteur isolé. La question est, comme on voit, fort complexe, et elle n'a pu être encore résolue en formule générale. Coulomb a reconnu que la perte par un support est d'autant moindre qu'il est plus mince et plus long, et que, étant donnée une charge électrique et une substance isolante, il existe toujours pour cette substance une longueur qui assure l'isolement complet, ou, en d'autres termes, qu'un support peut toujours isoler complètement une certaine charge d'électricité. Pour cela, il faut que la longueur du support soit proportionnelle au carré de la charge.

Si, sans altérer la masse d'une substance isolante, on en fait varier la forme, son pouvoir conducteur peut se trouver modifié. Par exemple, une masse de soufre, sous la forme d'un cylindre effilé, enlève plus de fluide à une boule électrisée que lorsqu'elle est sous la forme d'une lame. La chaleur augmente, en général, la conductibilité des solides et, par suite, diminue leur pouvoir isolant. Mais, à conditions égales, le fluide négatif est plus facile à conduire que le fluide positif, circonstance remarquable qui se produit déjà dans l'air (3^e loi de Matteucci), et qui semble éta-

blir une différence décisive entre les deux électricités.

Cette différence s'est encore manifestée dans les ingénieuses expériences que MM. de Sénarmont et Wiedemann ont faites, chacun de son côté, sur la conductibilité électrique des cristaux, expériences qui ont, en outre, mis en évidence, dans la plupart des cas, l'inégale conductibilité des différentes directions d'un même cristal, caractérisée par le système auquel ce cristal appartient. C'est le phénomène analogue à celui de la conductibilité calorifique. S'il est plus prononcé avec la chaleur, cela tient peut-être à ce que celle-ci se propage beaucoup mieux que l'électricité, et que sa marche est, par conséquent, plus facile à suivre et à mesurer.

3° Déperdition de l'électricité par les liquides. — Les liquides enlèvent très bien aux corps leur électricité statique. Mais lorsqu'un courant traverse un liquide (v. ÉLECTROLYSE) et le décompose, tout le fluide est-il employé au travail de la décomposition; ou bien s'en répand-il une certaine quantité dans la masse du liquide? A cette dernière question, MM. Faraday et Matteucci répondent affirmativement; mais d'autres physiciens, notamment MM. de La Rive, Becquerel, Poggenдорff, tiennent pour la négative, ou tout au moins pour le douteux. Si; donc il y a perte d'électricité par la conductibilité propre du liquide, cette perte est excessivement faible, et sans influence appréciable sur les résultats. Afin de concilier toutes les opinions, M. Becquerel admet que, dans les instants où le courant est assez intense pour produire l'électrolyse, il n'y a aucune perte de fluide; mais que, dans les instants où il faiblit au point de n'être plus capable d'opérer la décomposition, il y a perte d'électricité.

4° Mesure des conductibilités pour l'électricité dynamique. — Si, sur le cadre d'un GALVANOMÈTRE, on entroule simultanément deux fils métalliques de même longueur et de même diamètre, et que l'on y fasse passer des courants opposés, l'aiguille, poussée d'un côté par l'action d'un des courants, sera poussée en même temps du côté opposé par l'action de l'autre courant. Sa déviation définitive sera donc l'effet de la différence des actions des deux courants, et, puisque les fils sont égaux en longueur et en diamètre, cette différence d'action ne peut être produite que par la différence des conductibilités des fils. Voilà donc un moyen de comparer et, par suite, de mesurer les conductibilités. Ce moyen a été réalisé par M. Pouillet. Seulement, pour n'avoir pas à comparer entre elles des déviations angulaires qui compliqueraient les calculs, on préfère modifier par tâtonnement la longueur de l'un des fils jusqu'à ce que son action sur l'aiguille soit devenue égale à celle de l'autre fil. Soient c , l , s la conductibilité, la longueur et la section de l'un des fils; c' , l' , s' les valeurs analogues dans le second fil. A sections égales, les conductibilités seraient inversement proportionnelles aux longueurs; d'autre part, à longueurs égales, elles seraient proportionnelles aux sections; donc

$$\frac{c}{c'} = \frac{l's}{l s'}$$

Pour mesurer c , il faut choisir une substance dont la conductibilité c' soit adoptée pour unité. M. Jacobi proposa la conductibilité d'un fil de cuivre ayant 0^m,061 de diamètre, et, comme le cuivre est rarement pur, M. Jacobi fabriqua lui-même une certaine quantité de fils-étalons, qu'il expédia ensuite aux notables physiciens de l'Europe. M. Pouillet proposa d'abord le platine, puis le mercure purifié, ramené à la température de zéro. M. Becquerel préfère le fil d'argent.

Les résultats obtenus ne concordent pas toujours ; voici ceux de M. Becquerel :

	Comparés à l'argent.	Comparés au mercure.
Argent pur recuit.....	100,000	55,504
Argent pur écroul.....	93,448	51,869
Cuivre pur recuit.....	91,439	50,763
Cuivre pur écroul.....	89,084	49,445
Or pur recuit.....	85,458	36,332
Or pur écroul.....	64,285	35,740
Cadmium écroul.....	21,574	13,640
Zinc écroul.....	24,164	13,412
Étain écroul.....	13,656	7,579
Palladium écroul.....	13,977	7,538
Fer écroul.....	12,124	6,729
Plomb écroul.....	8,245	4,565
Plomb écroul.....	8,042	4,463
Mercury.....	1,802	1,000

M. Becquerel et M. Lenz ont cherché l'influence de la température sur la conductibilité, et ils ont trouvé que le pouvoir conducteur des corps métalliques s'affaiblit quand la température s'élève. C'est le phénomène inverse de celui qui se manifeste dans les substances solides non métalliques.

La formule ci-dessus peut aussi servir à comparer les coefficients de conductibilité des liquides à celui du mercure. Les liquides sont enfermés dans des cylindres de verre dont on a soigneusement déterminé la longueur et le diamètre; on les fait traverser par des courants dont on compare les effets sur une aiguille aimantée. Voici quelques résultats obtenus par M. Becquerel :

	Température.	Conductibilité.
Argent.....	00,00	100,00000000
Acide azotique.....	13,10	0,00009377
Chlorure de sodium en dissolution saturée.....	13,40	0,00003152
Solution d'iode de potassium.....	12,50	0,00001420
Azotate de cuivre saturé.....	13,00	0,00000899
Sulfate de zinc saturé.....	14,50	0,00000577
Sulfate de cuivre saturé.....	9,25	0,00000542
Eau distillée.....	"	0,00000013

« Ce qui est le plus digne d'attention dans ces résultats, dit M. Jamin, c'est la grande différence qui existe entre les conductibilités des divers corps : l'acide azotique conduit un million de fois, et l'eau distillée dix billions de fois moins que l'argent; et si on compare ensuite l'eau distillée à la plupart des substances minérales qui ne sont point traversées par les courants, et surtout aux corps qui isolent l'électricité statique, on sera convaincu que, de toutes les propriétés physiques de la matière, la conductibilité est celle qui est le plus inégalement distribuée, et qui peut le mieux caractériser les diverses substances. Aussi les moindres impuretés, ainsi que les moindres variations de température, la font-elles changer très considérablement. »

Il paraît que la chaleur, qui diminue la conductibilité des métaux, accroît celle des liquides, si le liquide est une dissolution; la nature du liquide dissolvant, celle du corps dissous et le degré de la solution introduisent encore dans les pouvoirs conducteurs des variations dont la loi n'a pu jusqu'ici être mise en évidence.

Les gaz, qui conduisent mal à la température ordinaire, deviennent bons conducteurs de l'électricité dynamique lorsqu'on les porte à une tempé-

rature élevée. Ce fait a été constaté pour la première fois sur les flammes par M. Ehrmann, de Berlin; il a, depuis, été étudié par M. Becquerel, toujours en appliquant la méthode dont nous avons exposé les principes. A la chaleur rouge, tous les gaz paraissent doués d'un égal pouvoir conducteur; de même au rouge blanc. Mais, entre ces deux températures, les conductibilités présentent de notables différences. Le gaz qui conduit le mieux est l'hydrogène. Viennent ensuite l'hydrogène protocarboné, l'oxygène, le chlore, l'azote, l'air, l'acide carbonique.

CONDUCTION. — Propriété que possèdent certains corps de transmettre l'électricité. (On dit aussi CONDUCTIBILITÉ.)

CONDUCTIVE (Décharge). — (V. DÉCHARGE et ÉTINCELLE.)

CONGRÈS D'ÉLECTRICITÉ. — Le premier congrès international d'électricité a été tenu à Paris en 1881, en même temps que la première exposition internationale d'électricité, dont il était la conséquence rationnelle. Il a inauguré ses travaux le 15 septembre et les a clos en octobre suivant.

Il a résolu la grave question des UNITÉS et a émis le vœu que le gouvernement français voulût bien inviter les gouvernements étrangers à constituer trois commissions internationales chargées :

La première, de déterminer par de nouvelles expériences la longueur de la colonne de mercure d'un millimètre carré de section qui, à température de zéro degré centigrade représentera la valeur de l'OHM.

La deuxième, de préciser les méthodes d'observation pour l'électricité atmosphérique, afin d'en généraliser l'étude à la surface du globe; de réunir les éléments statistiques relatifs à l'efficacité des PARATONNERRES des divers systèmes et à l'action préservatrice ou nuisible des RÉSEAUX TÉLÉGRAPHIQUES et TÉLÉPHONIQUES; d'organiser l'étude systématique des COURANTS TERRESTRES; d'étudier les meilleures conditions d'établissement d'un RÉSEAU TÉLÉTÉLÉGRAPHIQUE international permettant aux diverses stations de communiquer entre elles pour obtenir d'une manière certaine l'état météorologique du plus grand nombre possible de points utiles.

La troisième, enfin, de déterminer un ÉTALON définitif de lumière et d'arrêter les dispositions à observer dans l'exécution des expériences de comparaison.

CONJONCTEUR-DISJONCTEUR AUTOMATIQUE, ou COUPLEUR. — Appareil imaginé par M. Hospitalier pour le chargement des accumulateurs par des sources irrégulières d'électricité. Il a pour but de relier automatiquement les ACCUMULATEURS à la source de charge lorsqu'elle a une FORCE ÉLECTROMOTRICE suffisante pour les charger, et de rompre la communication dès que cette force électromotrice devient insuffisante. Le coupleur, construit en 1880, remplissait bien le but, mais présentait au point de vue pratique un inconvénient : il fallait régler l'appareil suivant le nombre d'accumulateurs à charger, et chaque modification dans le nombre ou la nature de ces accumulateurs nécessitait un nouveau réglage.

Le conjoncteur-disjoncteur du dernier modèle se compose, en principe, d'un AIMANT et d'une tige verticale en FER DOUX jouant librement dans l'intérieur d'une BOÎTE fixe, sur laquelle sont enroulés deux fils, l'un gros et court, l'autre long et mince. Cette tige de fer doux s'aimante sous l'action des courants qui traversent les fils de la bobine et peut prendre deux positions différentes; elle entraîne dans son mouve-

ment un basculeur en cuivre qui, suivant sa position, établit une communication électrique entre trois godets en fer remplis de mercure. Le godet du milieu communique tantôt avec le godet de droite tantôt avec celui de gauche.

Le socle est, du reste, muni de bornes destinées à y relier la source d'électricité, par exemple, une dynamo d'une part, et les accumulateurs à charger d'autre part.

Le fil fin est monté en circuit avec les accumulateurs et la dynamo. Supposons d'abord la dynamo arrêtée : les accumulateurs sont reliés à l'appareil de façon que le courant résiduel qu'ils peuvent fournir traverse le fil fin dans un sens tel que le basculeur établit le contact entre le godet du milieu et le godet de gauche : dans certains cas, ce dernier godet ferme le circuit d'une pile locale sur une sonnerie qui avertit ainsi que la machine ne charge pas.

Lorsque, au contraire, la machine marche, au moment où sa force électromotrice devient supérieure à celle des accumulateurs, le courant change de sens dans le fil fin, le fer doux polarisé est attiré en sens inverse et le basculeur établit le contact entre le godet du milieu et celui de droite. Par suite de ce mouvement, le gros fil se trouve en dérivation aux extrémités du fil fin et permet à la dynamo de charger les accumulateurs tout en maintenant, par suite du sens de son enroulement, le basculeur dans sa position.

Lorsque la marche se ralentit, le courant de charge s'affaiblit, celui des accumulateurs prédomine et ramène le basculeur à sa position initiale. Le fil fin a une résistance suffisante (300 à 2.000 ohms, suivant le nombre d'accumulateurs en tension à charger) pour ne dépenser qu'une fraction très faible de la charge. Du reste, lorsque l'on arrête la machine pour une période un peu longue, il suffit de retirer une clef spéciale placée sur le conjoncteur-disjoncteur pour couper le circuit entre la dynamo et les accumulateurs, et supprimer ainsi toute décharge de ceux-ci. Cet appareil, en service dans le laboratoire de M. Hospitalier, a toujours parfaitement fonctionné.

CONNECTEUR. — Nom donné par M. Van Rysselberghe à un CONDENSATEUR d'un demi-MICROFARAD servant à établir, dans un poste intermédiaire, une liaison entre l'entrée et la sortie d'un fil télégraphique utilisé en même temps pour la conversation téléphonique entre les points extrêmes de ce fil. (V. TÉLÉPHONE à GRANDE DISTANCE.)

CONSÉQUENT (Point ou Pôle). — Pôle parasite qui se développe quand on aimante un barreau suivant une méthode vicieuse. On peut produire à volonté un pôle conséquent en changeant le sens de l'enroulement d'un solénoïde autour du barreau à aimanter. (V. AIMANT.)

CONSERVATION DE L'ÉLECTRICITÉ (Principe de la). — Toutes les expériences d'électricité démontrent que la MASSE ÉLECTRIQUE est indestructible, aussi bien que toute autre substance matérielle.

M. Lippmann a déduit de ce fait une conséquence analogue, pour les phénomènes électriques, à celle que l'on déduit du PRINCIPÉ DE CARNOT pour les phénomènes calorifiques. (V. CARNOT.)

Si un corps parcourt une série de transformations fermées, et si l'on désigne par dm la quantité d'électricité qu'il reçoit à chaque instant, on aura

$$\int dm = a.$$

L'expression de dm doit donc être une différentielle exacte.

Si, en particulier, m n'est fonction que de deux variables x et y , c'est-à-dire si on peut écrire

$$dm = Xdx + Ydy,$$

on aura la condition

$$\frac{dX}{dy} = \frac{dY}{dx},$$

qui peut fournir de nombreuses relations nouvelles dans l'étude des phénomènes électriques.

CONSTANTES d'une pile d'un accumulateur ou d'une machine électrique. — On désigne sous le nom de constantes d'une pile ou d'un accumulateur la FORCE ÉLECTROMOTRICE et la RÉSISTANCE intérieure de cette pile ou de cet accumulateur. Ces deux facteurs permettent, au moyen de la loi de Ohm $(I = \frac{E}{R})$, de calculer la quantité de travail que

pourraient fournir ces appareils pendant l'unité de temps, s'ils demeurait identiques à eux-mêmes.

Ce mot *constantes* ne devrait s'appliquer qu'aux piles n'ayant pas encore fonctionné, et aux accumulateurs venant d'être chargés, parce que la POLARISATION d'une part et les réactions chimiques de l'autre modifient toujours dans un sens défavorable la force électromotrice et la résistance intérieure.

On se sert également du mot *constantes* pour désigner la force électromotrice et la résistance intérieure d'une MACHINE ÉLECTRIQUE (dynamo ou magnéto) tournant à une vitesse donnée.

Constante d'un galvanomètre. — (Voir GALVANOMÈTRE.)

CONTACT. — Deux points d'un circuit sont dits en contact lorsqu'ils sont réunis métalliquement soit par pression, soit par frottement ou friction, par immersion dans du mercure, par soudure, etc. Un bon contact est une condition essentielle pour assurer le passage de l'électricité.

CONTRÔLEUR ÉLECTRIQUE. — Nom donné à tout appareil dans lequel l'électricité est utilisée comme moyen de contrôle. En voici plusieurs exemples :

Contrôleur d'aiguille. — C'est un appareil destiné à contrôler le bon fonctionnement des aiguilles donnant accès d'une voie principale sur une voie de garage, ou réciproquement. On en distingue plusieurs systèmes :

1° Le contrôleur Lartigue se compose d'un commutateur à mercure formé d'une boîte isolante en ébonite dans laquelle pénètrent les deux fils de platine conducteurs du courant ; le mercure contenu dans la boîte baigne les deux fils et établit la communication entre eux quand la boîte est horizontale, tandis que cette communication est supprimée quand la boîte est inclinée par la pression de la lame d'aiguille. Le commutateur ne se relève, dans sa position inclinée, que lorsque la lame d'aiguille est en parfait contact avec le rail ; avant ce moment, le commutateur actionne une sonnerie et l'aiguille est ainsi averti de la mauvaise position de son aiguille.

2° Le contrôleur de la compagnie du Ouest, qui indique la position de la tringle de manœuvre de l'aiguille ; il se compose d'un commutateur à lame de ressort en fer à cheval qui ferme le circuit quand ses deux branches sont en contact avec deux butoirs

fixes. Lorsque l'aiguille est à fond de course, un doigt dépendant de la tringle de manœuvre écarte l'une des branches du ressort du butoir correspondant et interrompt le courant qui passait dans une sonnerie ; à ce moment la sonnerie s'arrête.

3° Le contrôleur Chaperon, qui se compose d'un commutateur à friction et dont le mouvement est solidaire de la position de l'aiguille. Ce commutateur agit, comme dans les cas précédents, pour interrompre le courant électrique actionnant une sonnerie dès que l'aiguille est dans sa position normale.

Contrôleur des feux de disques ou Photoscope. — M. Coupain a imaginé un appareil destiné à avertir une gare de l'extinction des feux des signaux fixes qui la protègent. La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée applique des appareils construits sur le principe du photoscope Coupain. Ils sont formés d'une lame bimétallique (cuivre soudé à une lame d'acier) qui ne ferme le circuit de sonnerie du disque que lorsqu'elle est déformée par sa dilatation sous l'action de la chaleur. L'extinction du feu amène donc la rupture du circuit, mais on ne s'en aperçoit qu'au moment où le disque est mis à l'arrêt. Pour que l'extinction fût signalée pendant que le disque est à voie libre, il faudrait qu'une sonnerie spéciale fût affectée au contrôle de l'état de la lanterne.

Un autre appareil, remplissant le même but et imaginé par MM. Chapat et Zeug, se compose de deux boules de verre remplies d'air, communiquant entre elles par un tube de faible diamètre plein de mercure; une de ces boules est à l'intérieur de la lanterne, l'autre est à l'extérieur. Par suite de la différence des températures, le mercure est repoussé dans le tube de jonction et interrompt un circuit électrique complété par un fil de platine plongeant dans le mercure; lorsque la lampe s'éteint, le mercure remonte, le circuit est rétabli et actionne une sonnerie d'avertissement.

Contrôleur de vitesse. — Les contrôleurs de vitesse des trains se composent tous, en principe, d'un mouvement d'horlogerie entraînant un papier ou un cylindre recouvert de papier et de styles ancrés mus par des électro-aimants.

Des pédales sont placées en certains points de la ligne; les trains, en passant sur ces pédales, ferment le circuit d'une pile, le courant est ainsi envoyé dans les électro-aimants de l'enregistreur, ils actionnent les styles qui marquent ainsi le passage du train.

Il y a une quantité de types d'enregistreurs de vitesse, tous basés sur le même principe; ce ne sont que des appareils d'expériences exceptionnelles; ils sont destinés au contrôle et non à la mesure de la vitesse.

Contrôleurs divers. — Contrôleurs de niveau dans les réservoirs. — On emploie des appareils électriques destinés à indiquer par un signal acoustique que l'eau contenue dans un réservoir a atteint un certain niveau. Il y a plusieurs systèmes de ce genre; voici les principaux :

Un entonnoir à ouverture étroite est placé au-dessous du tuyau de trop-plein du réservoir; quand cet entonnoir se remplit, son poids fait incliner un commutateur à mercure qui ferme le circuit d'une sonnerie; quand le trop-plein cesse de se déverser, le commutateur se relève et la sonnerie cesse de tinter. On peut encore faire actionner le levier d'un excréteur électrique à coup de poing par un flotteur soulevant un contrepois ordinaire, on envoie ainsi dans le circuit un courant qui fait apparaître un voyant et fait tinter une sonnerie dans le bureau du surveillant.

Contrôleur de rondes. — Il est destiné à inscrire automatiquement sur un seul appareil fixe, placé dans le bureau d'un chef de service, toutes les circonstances de la ronde d'un veilleur. On place en chaque point où la ronde doit passer un contact à l'aide duquel le veilleur lance dans le circuit un courant électrique.

Nous signalerons le contrôleur électrique de M. Napoli, et celui de MM. Dumont et Cabaret, qui a été construit par M. Garnier et qui est appliqué à la gare de l'Est, à Paris.

CONVECTION. — Se dit quelquefois de la transmission de l'électricité par l'intermédiaire d'un fluide dont les molécules sont dans un état constant d'oscillation.

CORRECTION (Came de). — Organe qui, dans un système télégraphique synchrone, sert à rétablir la concordance des organes imprimeurs. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

CORRÉLATION DES FORCES PHYSIQUES. — Les différentes forces de la nature : chaleur, lumière, électricité, magnétisme, mouvement, etc., ont entre elles une corrélation qu'il est intéressant de faire ressortir.

Nous ne saurions mieux faire que de reproduire *in extenso* le discours prononcé sur cette question par M. Clausius, en 1833, à l'occasion de son élection à la qualité de doyen de la Faculté à Bonn.

« De nos jours, on voit plus qu'autrefois les hommes de science s'efforcer de découvrir le rapport intime qui unit entre elles les diverses forces ou plus exactement les divers agents de la nature.

Parmi ces agents il faut surtout signaler la lumière, la chaleur, le magnétisme et l'électricité. Chacun d'eux ne fut d'abord considéré qu'isolément. On observait l'action d'un agent, et l'on cherchait à l'expliquer par des hypothèses qui satisfaisaient aux doctrines courantes, et cela sans considération des phénomènes du domaine des autres agents. Mais, plus tard, il devint de plus en plus probable que les coïncidences que l'on constatait dans les actions de ces agents ne pouvaient être purement accidentelles; on remarqua que ces forces agissent les unes sur les autres et que la présence de l'une peut déterminer l'apparition de l'autre. On devait en conclure nécessairement que les agents ne sont point indépendants l'un de l'autre; bien au contraire, qu'il existe entre eux un rapport déterminé.

L'observateur est ainsi conduit à examiner en quoi consiste ce rapport et comment la variété des phénomènes peut se rattacher à des causes d'une plus grande simplicité.

On a réussi déjà à résoudre plusieurs points de ce problème; tout récemment surtout, on a fait dans cette direction un progrès important et fertile en conséquences. Bien que ce progrès ne soit pas encore arrivé à son terme et que pour être admis comme un fait indéniable il ait encore besoin de quelques interprétations, il est digne de l'attention générale.

Il semble donc que le moment soit favorable pour jeter un regard sur le chemin parcouru jusqu'à présent avec succès, pour simplifier les idées sur les phénomènes de la nature. Afin de définir les différents agents, dont chacun a une manière particulière de se manifester et d'agir, on avait recours au moyen qui se trouvait sous la main et qui nous a suggéré que ces agents dépendent de l'existence de certaines substances douées de propriétés particulières. Ainsi,

on admettait une substance lumineuse, le calorique, deux substances électriques, dites FLUIDES ÉLECTRIQUES et de même deux FLUIDES MAGNÉTIQUES. A chacun de ces substances on pouvait attribuer des propriétés voulues, à l'aide desquelles on cherchait à expliquer la manière d'agir de chaque agent; ainsi on arriva à une explication, satisfaisant au moins aux premières exigences, sur la nature de ces agents et sur les phénomènes dont ils sont la cause.

Considérons d'abord la lumière. On la regardait autrefois comme une substance jaillissant de tous les côtés d'un corps lumineux, tels que, par exemple, le soleil; et on s'imaginait cette substance comme une agglomération de très petits corpuscules lancés par le corps éclairant avec une grande force et se mouvant ensuite suivant une ligne droite. Ces corpuscules devaient être incomparablement plus petits que les atomes des corps pondérables, et par suite capables de traverser non seulement le vide, mais les matières pondérables d'une densité considérable, telles que, par exemple, le verre ou l'eau.

Ces corpuscules pénétrant dans notre œil devaient y produire une impression que nous désignons par le terme « voir ».

Déjà au XVIII^e siècle, Huyghens, un Hollandais de génie, opposa à cette opinion, autrefois généralement admise, une autre théorie. Il comparait la lumière au son : lorsqu'un corps produit un son, on peut percevoir, dans la plupart des cas, par observation directe, qu'il se trouve animé d'un mouvement vibratoire très rapide. De là il ne restait qu'un pas à faire pour admettre que ces vibrations se communiquent à l'air ambiant et qu'elles s'y propagent dans toutes les directions sous forme d'ondulations par compressions et dilatactions successives qui font parvenir jusqu'à nos oreilles le mouvement du corps sonore. De même, disait Huyghens, se comporte un corps lumineux : il se trouve également en mouvement vibratoire, non qu'il vibre en toute sa masse, mais chacun de ses atomes exécute à lui seul des vibrations. Ces vibrations, nécessairement beaucoup plus petites et plus rapides que celles des corps tout entiers, doivent se communiquer également au milieu ambiant et s'y propager par un mouvement ondulatoire. Mais ni l'air ni les autres gaz ne peuvent servir à la propagation de vibrations aussi minimes, car les gaz sont eux-mêmes constitués par des atomes pondérables; la distribution de leur masse n'est pas suffisamment subtile. On devrait plutôt admettre l'existence d'une autre substance, beaucoup plus ténue, qui remplit tout l'univers en même temps qu'elle pénètre tous les corps pondérables; on lui a décerné le nom d'« éther ».

Par suite, il est arrivé ce singulier résultat, qu'on a écarté la substance lumineuse admise par la théorie antérieure à Huyghens et qu'on l'a remplacée par une autre substance nécessaire pour servir de véhicule aux vibrations lumineuses.

Sous ce rapport, on ne pouvait donc pas dire que la nouvelle théorie fût plus simple que l'ancienne.

Déjà Huyghens déduisit de sa théorie les différentes lois fondamentales de la lumière, en outre celle de la réflexion et de la réfraction, avec une sûreté et une élégance qui ne laissaient rien à désirer. Pour un phénomène bien plus compliqué, celui de la double réfraction, il a donné la construction employée encore de nos jours pour la détermination des deux rayons réfractés. De même, toutes les explications de la diffraction de la lumière reposent sur le principe qui a été établi par lui et qui porte son nom.

A juger d'après la régularité des progrès qui se

manifestent généralement dans les sciences exactes, où il est rare qu'un résultat une fois obtenu reste un temps un peu long sans être exploité, on devait s'attendre que la nouvelle théorie allait déplacer bientôt l'ancienne et devenir prédominante à elle seule. Mais l'ancienne théorie a trouvé un défenseur trop habile dans le célèbre Newton, physicien et astronome vivant à cette époque. Celui-ci, au début de ses études optiques, avait admis l'ancienne théorie et s'y cramponnait avec la ténacité propre aux Anglais. Certes, dans l'explication de certains phénomènes qu'il a découverts, elle lui présentait des difficultés plus sérieuses que celles qu'il aurait rencontrées dans la nouvelle théorie; mais il savait aplâner ces difficultés à l'aide d'hypothèses secondaires convenables, et avec une telle adresse, que ses explications ont trouvé une approbation presque générale auprès des physiciens, d'ailleurs éblouis par son grand nom.

La belle théorie établie par Huyghens, bien que non tombée dans l'oubli, a été aussi rejetée au second plan, et les deux théories, celle de l'émission et celle des ondulations sont restées côte à côte pendant plus d'un siècle. Même à la fin du dernier siècle et au commencement du nôtre, la théorie de l'émission a été défendue par des physiciens, des astronomes et des mathématiciens de premier ordre, tels que Biot, Herschel et Laplace. Ce n'est que dans notre siècle, grâce à la découverte des nouveaux phénomènes, très variés et d'une grande importance, dont l'explication a soumis à une épreuve décisive les deux théories, que la supériorité de la théorie des ondulations s'est manifestée d'une manière si éclatante, qu'elle a complètement supplanté la théorie de l'émission, à ce point qu'il n'est plus question depuis lors de la substance lumineuse.

Mais, tandis que l'on avait écarté la théorie concernant la lumière, on avait à peine ébranlé la matérialité de la chaleur. Il n'y avait que des doutes exprimés isolément et qui n'étaient pris qu'en médiocre considération.

En effet, dans la chaleur, il faut tenir compte d'un fait qui ne se montre pas dans la lumière et qui est éminemment propre à venir en aide à l'opinion sur la nature matérielle de la chaleur.

Nous connaissons la chaleur sous deux aspects : celui de la chaleur rayonnante et celui de la chaleur propre des corps; il existe entre eux un certain rapport. Lorsque les rayons calorifiques tombent sur un corps, la chaleur rayonnante disparaît comme telle, mais le corps se réchauffe; par conséquent, sa chaleur propre est augmentée.

Lorsqu'un contraire un corps chaud rayonne, la production de la chaleur rayonnante a lieu; mais, par suite, la chaleur propre du corps diminue, puisqu'il se refroidit par rayonnement. Ceci correspond complètement à la manière d'être d'une substance matérielle, qui peut bien passer d'une forme à l'autre, mais qui ne peut augmenter ni diminuer en quantité, de sorte qu'il y a autant de perdu sous une forme qu'il y a de gagné sous l'autre.

Il est vrai que dans les phénomènes d'un autre ordre, tels que les changements d'état des corps sous l'influence de la chaleur, on remarquait soit une disparition de la chaleur dont on ne retrouvait plus la présence, ou bien une apparition de chaleur dont la source n'était pas visible. Ainsi, par exemple, lorsqu'on fait fondre la glace ou qu'on vaporise l'eau, on perd de la chaleur; lorsqu'on contraire l'eau gèle ou que la vapeur se condense, une apparition de chaleur a lieu. Dans ces cas, on avait recouru à des hypothèses d'un autre ordre : on disait que la chaleur

disparue dans certains changements d'état des corps n'est pas détruite, mais qu'elle a revêtu une autre forme que nous ne sommes pas capables de constater et qu'on a dite « latente ». On s'imaginait ceci un peu de cette manière : la chaleur se combine chimiquement avec un corps donné et, par suite, elle est empêchée d'agir comme à l'état libre. Ainsi, lorsque la glace se combine chimiquement avec une certaine quantité de chaleur, il y a production d'eau, et lorsque l'eau se combine avec une certaine quantité de chaleur, la formation de vapeur a lieu. Lorsque, dans des conditions opposées, une telle combinaison se décompose, le corps reprend sa forme primitive et la chaleur est dégagée. De cette manière, on a établi une théorie chimique, qui considérait la chaleur comme tout autre élément; en vertu de quoi, dans les vieux manuels de chimie, on a inscrit l'affinité chimique des différents corps pour la chaleur à côté de leur affinité pour l'oxygène et pour d'autres corps semblables.

On s'est tellement familiarisé avec cette conception, que toutes les opinions physiques et chimiques ont été intimement liées avec elle.

Il restait bien des faits isolés qui ne se laissaient pas plier à cette théorie, et avant tout la production de la chaleur par frottement, qu'on ne pouvait expliquer qu'à l'aide d'hypothèses secondaires les plus forcées; cependant, jusque vers le milieu de ce siècle, en général, on tenait fermement cette théorie enracinée dans les esprits. Mais, à cette époque, des faits nouveaux, encore plus dignes d'attention, sont venus s'ajouter aux précédents.

Après la découverte du thermomètre reposant sur la thermoelectricité, lequel est incomparablement plus sensible que les thermomètres jusqu'alors en usage, on se mit à étudier la chaleur rayonnante plus minutieusement qu'il n'avait été possible précédemment.

Depuis longtemps déjà on connaissait certaines analogies entre la lumière et la chaleur rayonnante, et, avant tout, on savait que toutes les deux suivent les mêmes lois relativement à la réflexion et au calcul. Maintenant, des coïncidences encore plus frappantes ont été signalées en première ligne par Melloni, qui a consacré à ce sujet toute l'activité de sa vie. Dans la lumière, il y a des différences relatives à ses qualités, différences qu'on désigne sous le nom de « couleurs », lorsqu'on parle d'une lumière rouge, verte ou bleue; dans la chaleur, au contraire, on ne distinguait d'abord que la quantité et on disait des corps qui avaient plus de chaleur, qu'ils se trouvaient à une plus haute température et l'on attribuait aux rayons calorifiques une intensité plus ou moins grande. Alors on vit que dans la chaleur rayonnante il existe aussi des différences qualitatives, savoir différentes couleurs, qui s'écartent les unes des autres dans leur manière d'être, absolument comme celles de la lumière, se distinguent par cela même et se laissent étudier isolément dans leurs manifestations. Un peu plus tard, il a été démontré par d'autres physiciens, surtout par Knoblauch, que la chaleur rayonnante se comporte tout à fait comme la lumière dans des phénomènes plus compliqués, tels que la polarisation et la double réfraction. Dans de telles circonstances, il ne pouvait plus y avoir de doute que la chaleur rayonnante coïncide complètement avec la lumière; d'autre part, on était arrivé à la conviction que la lumière consiste en vibrations se propageant par ondes, on ne pouvait donc plus considérer la chaleur rayonnante comme une substance lancée par le corps chaud; seulement, on était amené à admettre qu'elle consiste également en vibrations de même ordre.

Après avoir acquis ce résultat pour la chaleur rayonnante, on ne pouvait pas considérer comme une

substance matérielle la chaleur propre des corps, laquelle peut se transformer en chaleur rayonnante ou bien dériver d'elle; bien au contraire, on était obligé de conclure que celle-ci consiste aussi en un mouvement quelconque qui a lieu à l'intérieur du corps. Il en est sorti pour les physiciens un problème à résoudre, celui qui avait pour objet d'expliquer les diverses actions que la chaleur exerce sur les corps par des mouvements moléculaires, et ce problème a donné lieu à la création de la théorie mécanique de la chaleur. On peut bien dire que celle-ci, de son côté, a réussi à expliquer toutes les actions calorifiques d'une manière si concluante, qu'à présent il n'y a probablement pas un seul physicien qui ne l'ait adoptée.

Par conséquent, le dernier obstacle qui s'opposait à l'admission du rapport entre la lumière et la chaleur a été levé; et le résultat définitif se laisse résumer ainsi : la lumière ne doit pas être considérée comme un agent particulier, elle concorde complètement avec la chaleur rayonnante, dont elle n'est qu'une forme spéciale. Les vibrations produites par des vibrations des atomes du corps et se propageant par ondes, qui constituent précisément la chaleur rayonnante, exercent entre autres actions une action sur notre œil, car une partie de ces vibrations possède la propriété d'évoquer dans l'œil une impression sur laquelle repose la vue. Dans une considération spéciale de cette action extrêmement importante pour nous, nous avons vu que dans la considération des quelques actions chimiques, nous désignons la chaleur rayonnante par le mot « lumière ».

Ainsi, des deux agents regardés primitivement comme distincts, lumière et chaleur, il ne reste qu'un seul, lequel comprend les deux, savoir la chaleur.

Occupons-nous maintenant des deux autres agents : le magnétisme et l'électricité. Il est étrange qu'autrefois on ait admis l'unité de ces deux agents, mais sous une forme inadmissible, dans la science qui allait en se développant. Dans l'antiquité, on savait seulement du magnétisme que certains minéraux attirent le fer, et de l'électricité, que l'ambre étant frotté attire les corps légers. La force de l'aimant avait été discutée plusieurs fois par les philosophes grecs et avait donné lieu à certaines considérations spéculatives; mais de la propriété de l'ambre on se contentait de dire qu'elle est une espèce de magnétisme.

On en est resté là dans l'antiquité et durant tout le moyen âge, et précisément jusqu'en 1600. Cet anachorète parut une publication sur l'aimant, de l'Anglais Gilbert, médecin de la reine Elisabeth. Il y mentionnait également la force attractive de l'ambre frotté, qu'on a observée aussi dans l'agate et dont il démontrait la production en beaucoup d'autres corps lorsqu'ils sont frottés. Par un examen plus attentif de cette force, il arriva à la conclusion qu'il ne fallait pas la considérer comme identique avec la force magnétique, ainsi que l'on avait fait, mais qu'on devait l'attribuer à un agent distinct, pour lequel il proposait le nom « électricité », nom qui dérive de la dénomination grecque de l'ambre.

Ainsi on a basé sur ces deux phénomènes deux branches scientifiques, qui se développaient parallèlement l'une à côté de l'autre, d'abord très lentement, ensuite de plus en plus rapidement. Mais toujours on tenait ferme à l'idée que, bien qu'il n'y eût plus identité des deux agents, il y a cependant entre eux un rapport qui restait à découvrir.

Tant qu'on ne connaissait que l'électricité statique produite à l'aide des machines électriques, toute recherche devait rester stérile. Les brillantes découvertes de Galvani et Volta, faites à la fin du siècle

dernier, d'où l'électricité voltaïque a découlé, ont ouvert un nouveau champ de phénomènes; désormais, on avait affaire non seulement avec les différences variées de l'électricité en repos et de ses modifications qui s'opéraient rapidement, mais on pouvait produire aussi des courants électriques continus et observer leurs actions. En attendant, l'attention a été longtemps captivée principalement par l'établissement de la théorie de la pile voltaïque et ensuite par les actions chimiques remarquables du courant électrique, ce qui a donné lieu à de nombreuses suppositions sur la relation entre les forces chimiques et électriques.

Ce n'est qu'en 1820 qu'a été faite une nouvelle observation relative au magnétisme. Oersted découvrit qu'un courant électrique dévie une aiguille aimantée et tend à la mettre dans une certaine position qui dépend du sens du courant. Par cela même a été donné pour la première fois un point d'appui sûr, reposant sur un fait, pour rechercher la relation entre le magnétisme et l'électricité. Ce n'était pourtant pas l'électricité statique, mais celle qui se trouvait en mouvement, qui a été prise d'abord en considération.

Un physicien célèbre autant par le génie de ses conceptions que par la pénétration et la sûreté du raisonnement, Ampère, s'est emparé avec une énergie remarquable de ce nouveau point de vue. Il a dit tout de suite : Si, comme nous le savons depuis longtemps, les aimants exercent entre eux des forces, et si ensuite, comme nous le voyons à présent, les forces agissent entre les aimants et les courants, nous devons admettre comme hors de doute que les courants produisent des forces entre eux.

A l'aide d'arrangements ingénieux, il a réussi à indiquer ces forces et à devenir ainsi l'inventeur d'une nouvelle espèce de forces, qui sont complètement distinctes des forces de l'électricité en repos, puisqu'elles ne prennent naissance que par le mouvement, et qui, par conséquent, par opposition à des forces électro-statiques, ont été appelées des forces électro-dynamiques.

Ensuite, Ampère a établi une comparaison entre les forces qui ont lieu entre les courants électriques et celles où les aimants sont en jeu, aussi bien entre celles qu'exercent les aimants sur les aimants qu'entre celles qui agissent entre les aimants et les courants électriques, et il est arrivé en même temps à un résultat singulier et d'une très grande importance. Il démontrait précisément qu'un petit courant électrique circulaire se comporte vis-à-vis des forces qui ont lieu entre lui et d'autres courants ou aimants exactement de la même manière qu'un petit aimant.

D'autre part, il a été reconnu que toutes les propriétés magnétiques du fer et de l'acier se laissent expliquer lorsqu'on considère chaque atome du fer comme un petit aimant; il n'était plus question que d'expliquer le magnétisme des atomes du fer séparément. Ampère a pu donner cette explication conformément à sa proposition, en faisant l'hypothèse que chaque atome du fer est parcouru par un courant électrique circulaire. Ces petits courants circulaires doivent nécessairement exercer certaines forces électro-dynamiques et les subir, et ces forces sont celles que l'on désigne sous le nom de forces magnétiques.

Grâce à cette explication, qui appartient aux plus grandes conquêtes de la physique, ce rapport longtemps cherché entre le magnétisme et l'électricité a été trouvé, et de telle sorte que les deux agents ont été réduits en un seul, l'électricité.

D'après cela, les forces magnétiques ne présentent qu'un cas spécial des forces électro-dynamiques, et le mot « magnétisme » ne désigne plus le nom d'un agent

distinct, il ne sert qu'à indiquer une conception électro-dynamique.

Ce résultat, combiné à celui acquis pour la lumière, a réduit les quatre agents admis primitivement : lumière, chaleur, magnétisme et électricité, au nombre de deux, savoir : la chaleur et l'électricité.

Il s'agit maintenant de répondre à la question qui est encore restée intacte : Comment se comportent ces agents l'un vis-à-vis de l'autre; s'ils sont indépendants entre eux, ou bien s'il existe aussi un rapport entre eux.

Dans les récents traités de physique, surtout dans les populaires, qui tâchent de suppléer par la hardiesse des spéculations au défaut de précision et de profondeur, on trouve souvent des expressions très vagues sur l'unité des forces de la nature, lesquelles semblent aussi contenir la réponse à la présente question.

On sait, en effet, depuis longtemps, qu'à l'aide des courants électriques on peut produire la chaleur et la lumière, et de plus la chaleur d'une très haute température et la lumière d'une très grande intensité; on sait également qu'à l'aide de la chaleur on peut produire les courants électriques et par leur intermédiaire le magnétisme.

Très souvent on s'explique ces procès comme s'il s'agissait d'une transformation de l'électricité en chaleur et lumière et de la chaleur en électricité et magnétisme. En disant ensuite : les agents qui se laissent transformer les uns dans les autres doivent être nécessairement de la même nature, on arrive à la conclusion : les quatre agents lumière, chaleur, magnétisme et électricité sont de la même nature et ne sont que les aspects différents d'un même agent.

Mais cette conclusion est trop prompte, elle repose sur une conception erronée des procès mentionnés. En réalité, personne n'a encore transformé l'électricité en chaleur ni la chaleur en électricité; il s'agit, dans ces procès, de transformations d'une nature tout à fait différente.

Le courant électrique consiste en un mouvement continu de l'électricité, mouvement qui est provoqué et entretenu par n'importe quelle force étrangère. Si à présent il y a production de chaleur par le courant électrique, ceci vient de ce que, par le mouvement de l'électricité, les atomes du corps dans lequel circule l'électricité sont mis en mouvement, et ce mouvement moléculaire ainsi produit n'est autre chose que la chaleur.

Ce n'était donc pas l'électricité elle-même, mais seulement son mouvement qui s'est transformé en chaleur. De la même manière, lorsqu'un courant électrique est produit par la chaleur, ce n'est pas la formation de l'électricité qui a lieu, mais seulement la mise en mouvement de l'électricité contenue dans les conducteurs; et de cette manière la chaleur se transforme en mouvement d'électricité.

On peut donc caractériser ces procès en disant que, pendant leur durée, il y a passage d'une espèce de mouvement dans une autre espèce de mouvement, savoir : du mouvement électrique en mouvement moléculaire et réciproquement.

Un tel changement du mode de mouvement, par suite du transport du mouvement d'un objet sur un autre, est un procès si simple et si facile à comprendre, qu'on peut calculer exactement même la quantité de chaleur produite par un courant électrique dans des circonstances déterminées, et ceci sans prendre aucunement en considération la nature propre de l'électricité. On ne doit donc pas espérer pouvoir tirer de ces procès une conclusion quel-

conque relative à la nature de l'électricité, et la conclusion que l'électricité est de la même nature que la chaleur est précisément tout à fait erronée.

D'un autre côté, un fait surprenant a été signalé récemment. Ce fait permet d'entrevoir dans une autre direction le rapport de l'électricité avec la chaleur et la lumière, et est donc de nature à rendre possible la formation d'un jugement vrai sur la nature de l'électricité.

Comme on l'a vu, il y a deux sortes de forces électriques : les forces électro-statiques, qui agissent une fois pour toutes et indépendamment du mouvement, et les forces électro-dynamiques, qui ne prennent naissance que par le mouvement. Il importait donc de comparer entre elles ces deux forces suivant leur grandeur. Mais la réalisation de cette comparaison a rencontré d'énormes difficultés expérimentales; aussi, ce n'est qu'au bout de bien longtemps après la découverte des forces électro-dynamiques que Wilhelm Weber et Kohlrausch parvinrent à conduire magistralement une recherche assez approfondie pour qu'il fût possible d'établir un rapport numérique déterminé entre les forces électro-dynamiques de l'ensemble des courants électriques et les forces électro-statiques correspondantes.

Cependant, si l'on veut appliquer à des particules d'électricité, prises isolément, le résultat obtenu pour l'ensemble des courants, on se heurte à une incertitude; elle est d'une importance secondaire pour notre question, car il ne s'agit pas de la grandeur moyenne de la force électro-dynamique, ni de sa dépendance de la vitesse du mouvement, mais de certaines différences relatives au sens du mouvement et de la force. Aussi, sans entrer dans une discussion pour ce fait, je vais me borner à donner le résultat dans la forme que l'on obtient en appliquant la loi des forces la plus probable, suivant mon opinion.

Imaginons deux particules électriques de la même espèce qui se meuvent avec des vitesses égales et invariables dans des directions parallèles; elles exercent l'une sur l'autre, comme force électro-statique une répulsion, et comme force électro-dynamique une attraction. La première est indépendante de la vitesse; la dernière, au contraire, augmente avec l'accroissement de la vitesse.

On peut se poser, par conséquent, cette question: Quelle doit être la vitesse des particules électriques, afin que les deux forces deviennent égales entre elles et qu'elles se détruisent mutuellement? La réponse à cette question, d'après la recherche de Weber et de Kohlrausch, est que la vitesse nécessaire des particules électriques doit être juste tout aussi grande que la vitesse avec laquelle se propagent dans l'univers la lumière et la chaleur rayonnante.

Par là on découvre un accord entre les deux grandeurs, dont l'une n'appartient qu'au domaine de l'électricité et l'autre au domaine de la chaleur et de la lumière; une telle harmonie ne saurait exister sans une raison d'être qui affecte la nature même des deux agents.

Il vient s'y ajouter un fait, établi également dans ces derniers temps. On sait que la lumière se propage moins vite dans un corps transparent que dans l'espace libre, d'où résulte la réfraction de la lumière à l'entrée dans le corps. D'un autre côté, on a observé qu'à l'intérieur d'un corps transparent l'effet produit par la force électro-statique qu'exercent mutuellement les deux particules électriques l'une sur l'autre a une valeur petite. Par conséquent, la vitesse qui doit animer les particules, afin que leur force électro-dynamique puisse détruire l'effet de la

force électro-statique, est moindre dans le corps que dans l'espace libre, et, autant qu'on peut voir d'après les mesures obtenues jusqu'à présent, la diminution de cette dernière vitesse est aussi grande que la diminution de la vitesse de propagation de la lumière dans un même corps.

Ces coïncidences mettent hors de doute qu'à la propagation de la lumière, et, ce qui revient au même, de la chaleur rayonnante, les forces électriques doivent prendre part.

Il doit donc exister entre la chaleur et l'électricité un rapport intime; afin de l'obtenir, il ne s'agit plus de spéculations vagues, basées seulement sur des suppositions, mais de recherches qui ont leur raison d'être dans les faits établis.

Dans une certaine mesure, on est parvenu déjà à trouver un rapport entre les agents basé sur le rapprochement de ces faits. Jusqu'à un moment présent, dans les calculs de la propagation de la lumière, on a considéré l'éther, dans lequel cette propagation a lieu, comme une substance douée de forces élastiques ordinaires, et on s'est servi de ces forces élastiques pour la formation des équations correspondantes.

L'Anglais Maxwell, un des plus éminents parmi les physiciens modernes, qui malheureusement est mort depuis peu, au moment de sa plus heureuse activité créatrice, a justement montré qu'on peut ainsi arriver aux mêmes équations en faisant intervenir les forces électriques. Il a fondé une théorie électro-dynamique ou bien, suivant son expression, électro-magnétique de la lumière.

Il est vrai qu'il était obligé d'y introduire des suppositions admises également dans ses autres développements et dont la justesse n'est pas absolument évidente; il en parle lui-même, en disant qu'il n'a pas réussi à les fonder sur des considérations mécaniques. Ainsi, il reste encore un problème réservé à l'investigation ultérieure de la physique et dont la solution n'est pas éloignée; il s'agit d'acquiescer une idée déterminée des propriétés de l'électricité qui seraient propres à démontrer la justesse et la nécessité des suppositions faites dans le calcul.

Cependant, on peut dire dès à présent ce qui suit: Si l'on doit expliquer la propagation de la lumière et de la chaleur rayonnante par des forces électriques, on doit se figurer que l'univers est rempli d'électricité; on doit admettre ensuite que la substance présente dans tout l'univers et même dans l'intérieur de tous les corps, et qu'on nommait « éther », n'est autre chose que l'électricité elle-même.

Cependant, comment doit-on s'imaginer la manière d'être de cette substance et comment doit-on expliquer les différentes forces exercées par elle et agissant sur elle? Ceci demande encore d'autres recherches.

Faisons maintenant la comparaison entre la manière primitive d'envisager les agents naturels et celle qui s'est formée récemment par la voie ci-dessus indiquée, et qui est engagée par un développement sûr et progressif.

Nous voyons vivement par là à quel point les sciences naturelles non seulement ont gagné en étendue et en intérêt pratique, mais aussi à quel point elles se sont consolidées intérieurement par la perfection des conceptions théoriques et de la méthode d'investigation strictement scientifique.

Encore au commencement de ce siècle les quatre grands agents de la nature se trouvent en physique, côte à côte, sans aucun lien. Pour les étudier, on a recours à autant de substances, ou même de paires de substances. De plus, afin d'expliquer les diffé-

rentes actions des agents, on attribue à ces substances des propriétés toujours nouvelles, et par cela on arrive, à proprement parler, à présenter la chose sous un autre aspect, mais non à l'expliquer!

Maintenant, bien au contraire, la manière de traiter ces agents forme un système unique, dans lequel, à côté de la masse pondérale, on n'admet qu'une seule substance particulière : l'électricité, et tout le reste trouve son explication dans les différents mouvements. Le tout ressemble à un édifice se dressant sur une base solide qui grandit, il est vrai, par le travail de plusieurs mains, mais selon un plan esquissé d'après une idée unique, et de telle manière que chaque pierre nouvelle y trouve sa place convenable; cet édifice, bien que non encore terminé, laisse reconnaître distinctement l'harmonie de sa structure, et se voit qu'on s'y retrouve facilement et sûrement.

Il en résulte que l'étude de la physique, malgré l'accroissement continu de matériaux par suite des nouvelles découvertes, ne devient pas facile, mais plus facile qu'auparavant; et par la sûreté des conclusions et par la clarté du savoir, elle fournit une satisfaction qu'on ne pouvait pas y trouver antérieurement. »

COUCHE MAGNÉTIQUE. — Suivant Maxwell, si une mince couche de matière magnétique est aimantée dans une direction partout normale à sa surface, le produit de l'intensité de l'aimantation en un point par l'épaisseur de la couche en ce point est appelée « l'intensité de la couche magnétique à ce point ». Si l'intensité de la couche est la même partout, on l'appelle une *couche magnétique simple*; si elle varie d'un point à l'autre, on peut considérer la couche comme formée d'un certain nombre de couches simples (d'aires différentes) superposées et se recouvrant l'une l'autre. On l'appelle alors une *couche magnétique complexe*.

Coulomb (Charles-Augustin de), physicien distingué, né à Angoulême en 1736, mort en 1806. Après avoir fini ses études à Paris, il entra dans le génie et fut envoyé à la Martinique, où il bâtit le fort Bourbon. De retour en France, il fit à Rochefort une série d'expériences sur le frottement, la raideur des cordes, etc., et obtint plusieurs prix de l'Académie des Sciences, qui l'admit au nombre de ses membres à l'unanimité, en 1782. Il fit partie de l'Institut lors de sa création, et fut nommé plus tard inspecteur général de l'Université. Coulomb a démontré que les attractions et les répulsions magnétiques varient en raison inverse du carré de la distance, ainsi que les attractions et les répulsions électriques, et que pour une même distance celles-ci sont proportionnelles aux produits des deux quantités d'électricité. L'appareil dont il s'est servi pour cela est la balance de torsion, qui est décrite à l'article BALANCE. Le principe sur lequel est fondé cet instrument consiste en ce que le couple dont le moment peut servir de mesure à la réaction du fil est proportionnel à l'angle représentatif de la torsion qu'on lui a fait subir. Voici comment Coulomb a constaté l'exactitude de ce principe : en le supposant vrai, le couple moteur, qui agit sur un disque horizontal homogène supporté en son centre par le fil et obligé de tourner avec lui, sera $K\theta$, θ désignant l'angle de torsion et K une constante; l'accélération angulaire du mouvement sera donc

$$-\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{K\theta}{I},$$

I désignant le moment d'inertie du disque par rapport à son axe, ou

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -C\theta;$$

or cette équation donne d'abord

$$\theta = \frac{d\theta}{dt} \frac{d^2\theta}{dt^2} = -2C\theta \frac{d\theta}{dt},$$

et, en intégrant,

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 = -C\theta^2 + C'.$$

Si α est l'angle dont on avait fait tourner le disque avant de l'abandonner sans vitesse à la réaction du fil, $\frac{d\theta}{dt}$ doit être nul pour $\theta = \alpha$, par conséquent la valeur de la constante C' doit être $+C\alpha^2$; ainsi l'équation précédente se réduit à

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 = C(\alpha^2 - \theta^2),$$

d'où

$$dt = \frac{1}{\sqrt{C}} \frac{d\theta}{\sqrt{\alpha^2 - \theta^2}}$$

et, par suite,

$$t = \frac{1}{\sqrt{C}} \arccos \frac{\theta}{\alpha}.$$

Le temps étant compté à partir de la position initiale, cette équation, qu'on peut aussi écrire

$$\frac{\theta}{\alpha} = \cos(t\sqrt{C}),$$

montre que le mouvement serait périodique, c'est-à-dire que les oscillations seraient isochrones; or l'expérience prouve précisément ce qu'est ce qui a lieu; on doit donc admettre complètement le principe. La durée d'une double oscillation étant, d'après la formule précédente, donnée par la relation

$$t\sqrt{C} = 2\pi,$$

une expérience propre à déterminer cette durée permettrait de trouver la valeur de C

$$\text{ou } \frac{4\pi^2}{T^2},$$

et, par suite, celle de K , ou IG ,

$$\text{ou } \frac{4\pi^2}{T^2} I,$$

pour chaque fil; il suffisait pour cela de déterminer le moment d'inertie I du disque, moment représenté, comme on sait, par

$$\frac{2}{5} a^2 \frac{P}{g},$$

a représentant le rayon et P le poids du disque. Connaissant la mesure K du couple représentant la réaction du fil pour un angle de torsion égal à 1, on pouvait dès lors se servir de la balance pour obtenir la mesure attractive ou répulsive exercée à l'extrémité du petit levier de cette balance, d'après l'angle dont il était dévié.

Coulomb est aussi très connu pour ses belles expériences sur le frottement. Jusqu'à la fin du siècle

dernier, les géomètres, pour faciliter leurs études, s'étaient provisoirement débarrassés de toutes les résistances passives qui viennent entraver les mouvements des solides naturels et dont l'intervention complique singulièrement les lois de tous les phénomènes dynamiques. Celle de ces résistances qui entre pour la plus grande part dans la réduction des effets produits par les moteurs est la résistance due au frottement. Coulomb a constaté que la résistance due au frottement de deux solides en contact est proportionnelle à la pression de l'un de ces solides sur l'autre, et indépendante à la fois de l'étendue des surfaces frottantes et de la vitesse relative des deux corps l'un par rapport à l'autre. Le frottement au départ étant sensiblement plus grand que pendant le mouvement, il est probable que la dernière partie de l'énoncé n'est suffisamment exacte qu'autant que la vitesse a déjà acquis une certaine grandeur.

Les travaux de Coulomb sont consignés dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, à partir de l'année 1784. On a de lui, à part : *Recherches sur les moyens d'exécuter sous l'eau toutes sortes de travaux hydrauliques sans employer aucun épauement* (1779, in-8°, avec figures).

COULOMB. — Unité électrique de quantité (v. UNITÉS ÉLECTRIQUES). Le coulomb représente la quantité d'électricité que débiterait pendant une seconde un courant d'une intensité égale à 1 AMPÈRE.

Comme l'ampère, le coulomb est donc égal à l'unité CGS correspondante multipliée par 10^{-1} .

D'après la loi de Faraday, si l'on fait traverser un voltamètre ou un électrolyte quelconque par un courant, le nombre d'équivalents qui seront déposés pendant un temps déterminé sur chacune des électrodes, sera indépendant de la nature de la substance électrolysée, et sera proportionnel au nombre de coulombs qui aura traversé l'électrolyte pendant ce temps.

Ceci posé, pour déterminer la grandeur du coulomb, il nous suffira de dire que son passage dans un voltamètre détermine la décomposition de 92 microgrammes d'eau à la seconde.

COULOMÈTRE. — Appareil servant à enregistrer la quantité d'électricité s'écoulant, dans un intervalle de temps déterminé, dans une canalisation électrique à potentiel constant. (V. COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ.)

COUP DE POING. — Nom sous lequel on désigne souvent un appareil employé pour la mise à feu électrique des mines. Cet appareil, imaginé par Bréguet, se nomme aussi EXPLOSEUR (v. ce mot). Il utilise le courant induit provoqué par la séparation brusque et la remise en place de l'armature d'un aimant puissant. Très portatif, n'exigeant aucun liquide, d'un maniement facile, il présente seulement l'inconvénient de tous les appareils à étincelles : il ne permet pas de vérifier par le passage d'un courant très faible la continuité et le bon établissement des conducteurs.

COUPE-CIRCUIT ou CUTOFF. — Portion de fil en plomb ou en alliage fusible que l'on intercale dans un circuit pour protéger les appareils d'éclairage placés sur ce circuit. Lorsque le courant dépasse une intensité fixée d'avance, l'alliage fond et les appareils sont mis hors circuit.

COUPLE. — Dans le langage électrique, le mot couple est employé comme synonyme d'*élément de pile*. (V. PILE.)

COUPLE DIRECTEUR TERRESTRE. — Forces égales parallèles et de sens contraires qui agissent sur un barreau ou une aiguille aimantée mobile et qui lui font prendre sensiblement la direction N.-S. Ces forces sont les résultantes des forces attractives et répulsives émanant de chacun des deux pôles magnétiques de la terre, considérée comme un AIMANT et agissant sur chacun des pôles de l'aimant ou de l'aiguille mobile.

COUPLEUR. — Appareil automatique imaginé par M. Hospitalier pour le chargement des accumulateurs. (V. CONJONCTEUR — DISJONCTEUR automatique.)

COUPURE. — Nom donné en télégraphie à une pièce de cuivre à bornes auxquelles aboutissent les deux extrémités de deux sections consécutives d'une LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE. Grâce à des coupures faites ainsi de distance en distance sur les longues lignes, on arrive à localiser les DÉRANGEMENTS qui peuvent se produire sur ces lignes.

On appelle, en service télégraphique, *coupure permanente* le point d'une ligne où se trouve un poste pouvant recevoir en tout temps les appels des postes situés en deçà et au delà de cette coupure ; et on appelle *coupure facultative* le point d'une ligne où se trouve un poste pouvant exceptionnellement communiquer en deçà et au delà en rompant la COMMUNICATION DIRECTE habituellement établie.

COURANT. — Action prolongée de l'électricité sur un conducteur mis en communication permanente avec une source d'électricité et particulièrement sur deux fils conducteurs établis aux pôles opposés d'une pile voltaïque.

Courants électriques (Électro-dynamique). — Si à chacun des pôles d'une pile électrique on attache un fil de métal, et que l'on rapproche l'une contre l'autre les extrémités libres des deux fils, il se fait aussitôt, dans le corps de la pile et dans les fils, un mouvement d'électricité auquel on a donné le nom de courant.

Ces fils, qu'on pourrait d'ailleurs remplacer par tout autre corps conducteur, sont les ÉLECTRODES ou TÉLÉPHONES de la pile. Quand ils se touchent, le circuit parcouru par le courant est dit *fermé* ; quand ils ne se touchent pas, si l'électricité ne peut franchir l'intervalle qui les sépare, le circuit est *ouvert*.

Le mot *courant*, dont la signification ordinaire implique l'idée d'une direction déterminée et unique, n'a peut-être pas été très heureusement choisi, puisqu'il doit exprimer le conflit qui a lieu dans le conducteur par la rencontre des deux électricités que fournit la pile. En effet, le fluide positif et le fluide négatif, s'écoulant chacun par un pôle distinct, vont l'un vers l'autre dans toute l'étendue du circuit et se traversent en quelque sorte mutuellement. Ils forment ainsi deux courants contraires, et nous verrons tout à l'heure comment M. de La Rive les conçoit. Mais, pour la commodité du langage et des représentations graphiques, on est convenu de ne parler que du courant d'électricité positive, et cette convention admise, on appelle *sens du courant* la direction suivie par l'électricité positive, direction qui est du pôle positif au pôle négatif.

Ampère a proposé et fait accepter une personification encore plus complète du courant. Il suppose un observateur couché le long du fil qui traverse le courant, de manière que l'électricité positive entre par les pieds et sorte par la tête, et il appelle *gauche*, *droite*, *face* et *dos du courant*, la gauche, la droite,

la face, le dos de l'observateur ainsi placé. Il suffit, pour donner ensuite des sens nets à ces expressions, de dire quel point regarde l'observateur.

Hypothèse de M. de La Rive sur la constitution du courant. — M. de La Rive conçoit le courant électrique comme résultant d'une série de décharges intermoléculaires, dont on peut se faire une idée assez exacte par l'expérience du carreau magique. Supposons le fil conjonctif de la pile décomposé en sections moléculaires A, B, C (fig. 1), allant du pôle positif M au pôle négatif N. Sous l'influence de l'électricité positive du pôle M, l'électricité naturelle

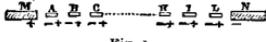


Fig. 1.

de la molécule A est décomposée; la négative se porte vers le pôle M, et la positive vers la molécule B, sur l'électricité de laquelle elle opère une décomposition pareille. Le pôle négatif N agit, de son côté, sur la molécule voisine L, en attirant son électricité positive et en repoussant sa négative. Chaque molécule est donc, pour ainsi dire, transformée en une pile, dont le pôle positif est tourné vers N, et le pôle négatif vers M. On exprime cet état des molécules en disant qu'elles sont polarisées. Quand les fluides opposés ont acquis une tension suffisante pour vaincre la résistance des espaces intermoléculaires, ils se combinent, rentrent à l'état naturel, puis se décomposent de nouveau, si la pile continue de fonctionner. Ainsi il ne faut pas se représenter le courant sous la figure de deux ruisseaux d'électricité, marchant l'un à travers l'autre en sens opposés; il est formé, dans l'hypothèse de M. de La Rive, par une série de décompositions électriques instantanées, en sorte qu'il n'y a courant d'électricité que parce qu'il y a courant de décomposition. (V. ÉLECTRICITÉ.)

Courants hydro-électriques et Courants thermo-électriques. — Ørsted distingue deux sortes de courants: le courant hydro-électrique fourni par les piles ordinaires, dans lesquelles l'électricité résulte de l'action d'un liquide sur un métal, et le courant thermo-électrique, produit par l'électricité que la chaleur développe dans les métaux soudés ensemble. Cette dernière espèce de courants a été découverte en 1821 par Seebeck, de Berlin, qui, ayant formé un circuit métallique en soudant un barreau de bismuth à une lame de cuivre et chauffé l'une des deux soudures, remarqua que le circuit était parcouru par un courant capable de dévier notablement l'aiguille aimantée. Le courant allait de la soudure chaude à la froide, en passant d'abord par le cuivre. Deux métaux, quels qu'ils soient, soudés ensemble donnent un courant thermo-électrique, dont l'intensité et le sens dépendent des métaux associés. Le courant le plus intense est produit par l'antimoine et le bismuth. (V. PILE THERMO-ÉLECTRIQUE ET THERMO-MULTIPLICATEUR.)

Intensité des courants. — Ørsted, ayant par hasard, en 1819, disposé parallèlement à une aiguille aimantée mobile sur un pivot un fil de métal traversé par un courant électrique, remarqua que l'aiguille quittait le méridien magnétique, et formait avec lui un angle d'autant plus grand que le courant était plus intense. C'est sur ce phénomène que l'on s'est appuyé pour comparer les intensités des courants et pour construire un certain nombre d'appareils

propres à mesurer ces intensités (v. BOUSSOLE DES SINUS, BOUSSOLE DES TANGENTES, MULTIPLICATEUR, RHÉOMÈTRE). Variables de formes et d'usages, ces appareils concourent tous au même but: constater la déviation qu'un courant est capable d'imprimer à une aiguille aimantée mobile.

De prime abord, on est porté à croire que les intensités des courants doivent être proportionnelles aux déviations de l'aiguille, en sorte que, si celles-ci étaient évaluées au moyen d'un limbe circulaire horizontal, on aurait par là même la mesure de celles-là. Mais une considération géométrique très élémentaire va faire ressortir l'inexactitude dont ce mode de mesure serait entaché. Soit mm' (fig. 2) la direction

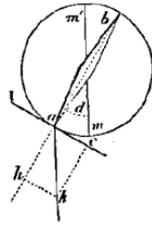


Fig. 2.

que prend l'aiguille aimantée sous la seule action du magnétisme terrestre. Si l'on fait passer parallèlement à cette direction un courant d'intensité I , il dévie l'aiguille d'un angle d , et, quand elle est dans cette position, il fait équilibre à l'action terrestre; il peut être, par conséquent, mesuré par la force représentative de cette action. Figurons la direction et l'intensité de cette force par la droite ak , qui est parallèle à mm' ; cette force résulte des deux composantes ak et ac , dont la première est annulée par la résistance même de l'aiguille. C'est donc à la composante efficace ac que l'intensité du courant fait équilibre, en sorte que l'on peut écrire $I = ac$.

Maintenant, supposons que, l'intensité du courant étant augmentée, l'angle d soit doublé: dans le triangle rectangle ack , dont l'hypothénuse est invariable, l'angle ack , qui est égal à d , sera doublé également, mais le côté opposé à cet angle ne sera pas double de ac . Donc l'intensité du courant ne sera pas non plus double de ce qu'elle était d'abord.

Cependant la proportionnalité est admise lorsque les déviations ne dépassent pas 20°. Au delà de cet écart, il faudrait recourir à des tables dans lesquelles on a consigné empiriquement les déviations correspondant aux différentes intensités. Mais, comme les indications d'un même appareil varient avec les circonstances de sa construction, il faudrait autant de tables que d'instruments, et encore ces tables deviendraient sans utilité à la moindre modification survenue dans le magnétisme de l'aiguille. Heureusement on a des appareils qui donnent directement les intensités des courants. Pour ces appareils et pour l'exposition des principes sur lesquels ils reposent, nous renvoyons aux mots cités plus haut, en y ajoutant BALANCE ÉLECTRIQUE, MAGNÉTOMÈTRE, AMPÈRÈMÈTRE et ELECTRODYNAMOMÈTRE.

La recherche des lois de l'intensité des courants date de 1821. Elle fut tentée par Davy, qui le premier donna la formule de conductibilité des fils métalliques, formule que Becquerel confirma en 1825. Mais la question n'était encore qu'ébauchée lorsqu'elle fut reprise par Martin Ohm, d'Erlangen, qui, par le seul emploi de l'analyse, en donna une solution complète en 1827, dans un bel ouvrage intitulé: *Théorie mathématique de la pile galvanique*, dont M. Gaugain a publié la traduction il y a quelques années. Les lois de Ohm furent vérifiées par Fechner en 1831. Mais les travaux de Ohm et ceux de Fechner, quoique déjà répandus en Allemagne,

étaient complètement ignorés en France lorsqu'en 1838 Pouillet, aidé seulement de la méthode expérimentale, retrouva à peu près tous les résultats annoncés par le mathématicien allemand.

Formule de Ohm. — Ohm a appliqué à la propagation de l'électricité l'hypothèse sur laquelle Fourier avait fondé ses beaux calculs relatifs à la transmission de la chaleur. De même que la chaleur est supposée passer d'une molécule à une autre par l'excès des températures dont sont douées les deux molécules, de même l'électricité se propagerait dans un courant par un excès de tension entre deux molécules contiguës. On peut se faire une idée de cette hypothèse en se rappelant la condition d'où dépend la rapidité d'un cours d'eau. La rapidité d'une masse d'eau courante dépend de la différence des niveaux de toutes les stations consécutives parcourues, en considérant ces stations comme très rapprochées les unes des autres. Cette différence de niveau produit en chaque point une chute d'eau qui lui est proportionnelle et qui constitue, à proprement parler, la vitesse de l'eau en ce point-là. D'après Fourier, la chaleur se propage par des différences de température, et d'après Ohm, l'électricité se transmet par des différences de tension. Enfin l'hypothèse de Ohm a été vérifiée directement en 1833 par M. Kohlrausch, qui a mesuré les tensions électriques, de point en point, sur toute la longueur d'un fil conjonctif.

Considérons un circuit composé d'un couple P (fig. 3) et d'un fil cylindrique homogène f , et déve-

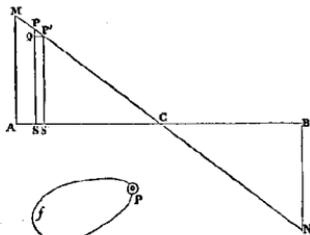


Fig. 3.

lignons ce fil suivant une ligne droite AB. Les tensions égales et contraires qui existent aux deux pôles pourront être représentées au moyen de deux perpendiculaires égales AM et BN, élevées en sens opposés aux extrémités de la droite AB. Cela posé, Ohm admet que, de A en C et de B en C, les tensions électriques vont en diminuant suivant une progression arithmétique décroissante, en sorte que si l'on représente la tension de chaque molécule par une ordonnée parallèle aux deux premières, les extrémités de toutes les ordonnées formeront la droite MN. On voit qu'au point C, situé à égale distance des deux pôles, la tension est nulle.

Maintenant considérons la différence de tension de deux tranches SS' situées à une distance infiniment petite l'une de l'autre. Les ordonnées étant représentées par les deux droites SP, S'P', leur différence se trouve figurée par la droite PQ, que Ohm appelle la chute électrique, lorsque SS' = 1. Alors, bien que les tensions varient, la chute électrique est constante. Il s'agit de la calculer.

Les deux triangles semblables PQP' et MAC donnent

$$\frac{PQ}{QP'} = \frac{AM}{AC}$$

Mais lorsque QP' = 1, PQ représente la chute électrique, et l'on a

$$\text{chute électrique} = \frac{AM}{AC}$$

Or la chute électrique est proportionnelle, par hypothèse, à l'intensité I du courant. Donc

$$(1) \quad I = SC \frac{AM}{AC}$$

le produit SC étant une constante qui dépend de la section et de la conductibilité du fil.

L'expression (1) peut s'écrire

$$I = SC \frac{1 AM}{1 AC} \quad \text{ou} \quad I = SC \frac{AM + BN}{AB}$$

AM + BN représente la force électromotrice E qui produit les tensions aux pôles. AB est la longueur L du fil. Donc

$$(2) \quad I = SC \frac{E}{L}$$

Si l'on appelle R la résistance que le fil conjonctif oppose au passage de l'électricité, on sait que cette résistance est en raison directe de la longueur L du fil, et en raison inverse de sa section S et de sa conductibilité C; c'est-à-dire que l'on a

$$R = \frac{L}{SC}$$

Donc

$$I = \frac{E}{R}$$

Telle est, d'après Ohm, la formule de la loi fondamentale de la pile.

Pour faire entrer dans la formule tous les éléments du conducteur, longueur, section, conductibilité, prenons-la sous sa forme (2), et nous allons en déduire toutes les lois de l'intensité des courants, que l'expérience a plus tard confirmées. Soit donc

$$I = SC \frac{E}{L}$$

Supposons que l'on fasse varier seulement la longueur du circuit, on aura

$$I' = SC \frac{E}{L'}$$

Donc

$$\frac{I}{I'} = \frac{L'}{L}$$

Par conséquent, toutes choses égales d'ailleurs, les intensités des courants sont en raison inverse des longueurs qu'ils parcourent.

On trouverait de même qu'en faisant varier seulement les sections les intensités sont proportionnelles aux sections des conducteurs parcourus.

Enfin si les conducteurs sont formés de fils égaux en longueur et en section, mais composés de matières différentes, et, par conséquent, doués de conductibilités inégales, les intensités sont proportionnelles aux coefficients de conductibilité.

Si à ces trois énoncés on ajoute celui-ci : l'intensité du courant est la même dans toute l'étendue d'un

circuit homogène, on a les quatre lois relatives à l'intensité des courants.

Lorsque deux fils, différents par leur longueur, leur section et leur conductibilité, sont joints aux deux extrémités d'un même couple, les intensités sont

$$I = E \frac{SC}{L}, \quad I' = E \frac{S'C'}{L'}$$

Mais si les deux fils sont tels que l'on ait

$$\frac{SC}{L} = \frac{S'C'}{L'}$$

les intensités I et I' sont égales et alors les conducteurs sont dits *équivalents*.

Si dans l'égalité

$$\frac{SC}{L} = \frac{S'C'}{L'}$$

on pose $S' = 1$, $C' = 1$, $L' = R$, il vient

$$\frac{SC}{L} = \frac{1}{R}$$

Cela veut dire qu'on peut toujours remplacer un fil quelconque, déterminé de conductibilité, de longueur et de section, par un autre dont la conductibilité et la section seraient égales à l'unité, mais dont la longueur R serait égale à $\frac{L}{CS}$. R se nomme alors la *longueur réduite* du conducteur et représente la résistance du fil métallique. Mais à cette résistance il faut, dans les piles hydro-électriques, ajouter la résistance r du liquide. Dans ce cas, la résistance du circuit total est $R + r$, et la formule de Ohm devient

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Ce sont toutes ces mêmes formules que Pouillet, sans les connaître, a trouvées par de nombreuses expériences, au moyen de piles thermo-électriques et de piles hydro-électriques, dans lesquelles il faisait varier successivement la longueur, la section et la nature du métal conducteur, ainsi que le liquide.

Dans la formule $I = \frac{E}{R + r}$, E représente la force électromotrice, et r la résistance d'un seul couple de la pile. Mais considérons, par exemple, le cas d'une pile formée de n couples à action constante. Ohm admet que chaque couple produit un courant qui traverse la pile, comme s'il était seul. Le premier couple possède une force électromotrice E_1 , et une résistance r_1 ; le second couple possède une force électromotrice E_2 et une résistance r_2 , etc.; de sorte que la résistance totale de tout le circuit est égale à la résistance R du conducteur, augmentée de la somme des résistances des éléments. Ainsi l'intensité du courant engendré par le premier couple sera

$$I_1 = \frac{E_1}{R + r_1 + r_2 + r_3 + \dots}$$

Le courant engendré par le deuxième couple traversera la même circuit, et donnera de même

$$I_2 = \frac{E_2}{R + r_1 + r_2 + r_3 + \dots}$$

Ainsi de chaque courant. La somme de ces n courants, dirigés dans le même sens, sera donc

$$I = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{R + r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n} = \frac{nE}{R + nr}$$

Cette formule, qui représente la solution générale de l'intensité d'un courant fourni par une pile quelconque, exprime que *l'intensité du courant est proportionnelle à la somme des forces électromotrices des couples, et en raison inverse de la résistance totale du circuit, en y comprenant la pile*. Elle a encore été directement vérifiée par Pouillet, avec une pile de Daniell à six éléments.

Cette formule peut s'écrire

$$I = \frac{E}{\frac{R}{n} + r}$$

et l'on voit que :

1° L'intensité du courant augmente avec le nombre n des couples.

2° Si $R = 0$, auquel cas la résistance du circuit extérieur est nulle, la formule devient

$$I = \frac{E}{r}$$

et n'exprime plus alors que l'intensité d'un seul couple.

3° I diminue à mesure que R augmente, à moins que n n'augmente aussi en même temps. Par conséquent, plus la résistance à vaincre est grande, plus il faut employer de couples, etc.

Courants complexes. — Les pôles d'un couple sont réunis par plusieurs fils successifs, de nature, de section et de longueurs différentes; le courant qui traverse un tel conducteur est dit *complexe*. Pour en calculer l'intensité, on remplace chaque fil par sa *longueur réduite* (v. plus haut), après quoi le circuit est considéré comme composé d'une suite de conducteurs ayant même section, même conductibilité, et pour longueur totale la somme des longueurs réduites. On a ainsi

$$I = \frac{E}{\frac{L}{CS} + \frac{L'}{C'S'} + \frac{L''}{C''S''} + \dots}$$

Courants dérivés. — Étant donné un fil métallique parcouru par un courant, si l'on joint deux points de ce fil par un autre conducteur, la partie du courant qui circule dans ce conducteur est dite *courant dérivé*.

Courant propre de la grenouille. — On a appelé ainsi le courant fourni par l'électricité qui se dégage lorsqu'on met en contact les muscles d'une grenouille dépouillée avec ses nerfs (v. GALVANISME). On sait que ce courant a été découvert, en 1780, par Galvani, qui en plaçait la source dans les nerfs de l'animal, mais qu'il fut autrement expliqué par Volta, qui l'attribua au contact de deux métaux, communiquant ensemble par l'intermédiaire de la grenouille dépouillée. La théorie de Galvani était donc abandonnée, lorsqu'elle fut reprise, en 1827, par Nobili, et plus tard par Matteucci. Ces deux physiciens, par des expériences nombreuses et délicates, mirent hors de doute l'existence du *courant propre de la grenouille*. Mais ils auraient dû le baptiser d'un autre nom, car ce courant n'est pas *propre* à la grenouille; on le retrouve en répétant sur d'autres animaux les expériences de Galvani.

Courant musculaire. — Mais Matteucci a fait voir qu'il peut y avoir courant électrique sans l'intervention des nerfs. Un muscle suffit. L'intérieur du muscle donne de l'électricité positive; l'extérieur donne de l'électricité négative. Dans ce cas,

l'intérieur du muscle joue le même rôle que les nerfs, qui, eux aussi, donnent du fluide positif. Le courant musculaire a été constaté dans plusieurs animaux : oiseaux, lapins, brebis, etc. Il a été l'objet d'expériences nombreuses et d'études variées de la part de M. du Bois-Reymond, qui a, en outre, reconnu que les nerfs, pendant leur vitalité, peuvent donner un courant dirigé, dans le hémètre, d'un point de la surface latérale à un point de la surface incisée transversalement. (V. *PHYSIOLOGIE*.)

On trouvera aussi exposés au mot *ELECTRICITÉ* (sources d') les diverses explications de ces courants, dont le plus singulier est celui qui est produit par la seule contraction du bras humain. Il est probable que, sous la seule influence des phénomènes calorifiques et chimiques qui s'accroissent dans la masse des organes vivants, il se produit des courants d'électricité allant des nerfs aux muscles, et, dans chaque muscle ou dans chaque nerf, allant de l'intérieur à l'extérieur; et qu'ainsi la théorie de Galvani mérite d'être restaurée à côté de celle de Volta, devant laquelle elle avait pendant longtemps disparu.

Effets des courants. — Les courants voltaïques peuvent produire, suivant les substances qu'ils traversent, des effets variés, que l'on a rangés sous quatre titres : *Effets physiologiques*, *Effets physiques*, *Effets chimiques*, *Effets magnétiques*. Nous allons en résumer les phénomènes essentiels, nous réservant d'offrir plus de détails théoriques au mot *ELECTRICITÉ DYNAMIQUE*.

1^o Effets physiologiques. — Le récit de la fameuse expérience de Galvani, en excitant une vive curiosité, suggéra l'idée de soumettre à l'action du courant électrique d'autres corps morts que des cadavres de grenouilles. De Humboldt prit une limotte qui était sur le point d'expirer. Il lui plaça dans le bec une petite lame de zinc et dans le rectum un petit tuyau d'argent, puis il fit communiquer les deux métaux par un fil de fer. Au moment du contact, l'oiseau rouvrit les yeux, bondit sur ses pattes et se mit à battre des ailes. Il put vivre encore pendant six à huit minutes.

Le passage d'un courant dans un membre mort, dans un cadavre qui n'est pas encore entré en décomposition, produit des contractions, des mouvements, des gestes analogues à ceux qu'on observe pendant la vie, mais désordonnés et plus violents. Aldini, de Bologne, se rendit célèbre en promenant en Italie, en France et en Angleterre, ses hideuses expériences sur des corps de suppliciés. Ne pouvant les rapporter toutes, nous en exposerons une qui les résume : c'est le spectacle offert, le 4 novembre 1818, par le docteur Andrew Ure, aux savants et aux curieux de Glasgow. Le principal sujet était le corps de l'assassin Clydsdale, homme d'environ trente ans, de moyenne taille, mais trapu, musclé et d'une vigueur athlétique. Après être resté une heure attaché au gibet, il fut apporté encore chaud à l'amphithéâtre anatomique. Par deux incisions pratiquées l'une au-dessous de l'occiput, l'autre à la hanche gauche, on découvrit la vertèbre *atlas* et le nerf sciatique, qui furent alors mis en communication, au moyen de tiges métalliques, avec les deux pôles d'une forte pile. Le courant passait, et aussitôt tous les muscles du corps étaient saisis de mouvements convulsifs, semblables à un frisson violent.

On faisait ensuite entrer le courant par la moelle épinière et on le faisait sortir par le tendon d'Achille. La jambe avait alors des contractions et des extensions si énergiques, qu'elle renversait presque ceux qui voulaient la maintenir.

Par une incision faite dans la région du cou et une autre sur le cartilage de la cinquième côte, on fit communiquer le nerf diaphragmatique gauche avec le diaphragme, et l'on vit aussitôt une chose prodigieuse : le cadavre respira ! La poitrine et le ventre s'élevaient et s'abaissaient ; une bougie allumée, placée devant la bouche, fut éteinte par l'expulsion de l'air. Dans le compte rendu de son expérience, le docteur Ure n'hésite point à affirmer que si, sans blesser la moelle épinière et sans ouvrir les vaisseaux sanguins du cou, on se fût borné à mettre en jeu les organes pulmonaires et les muscles, il y a quelques probabilités qu'on aurait pu restaurer la vie, et il conclut ainsi : « Cet événement, sans doute peu désirable dans le cas d'un assassin, et peut-être contraire à la loi, aurait été cependant bien pardonnable dans une circonstance où il aurait été infiniment honorable et utile à la science. »

On mit aussi en jeu les muscles de la face. On produisit, avec une rapidité et une énergie effrayantes, tous les mouvements et toutes les grimaces possibles, roulements d'yeux, rires, contractions, etc. Les spectateurs furent épouvantés ; quelques-uns s'évanouirent, d'autres quittèrent l'amphithéâtre. Enfin, pour terminer, on fit passer le fluide électrique par les articulations des doigts de la main. Les doigts s'ouvraient et se fermaient avec une agilité inimitable. Quand le poing était fermé, il s'ouvrait malgré les plus puissantes étreintes employées à le contenir.

Tous ces phénomènes ont été depuis répétés sur des corps d'animaux, et toujours avec succès, quand les animaux étaient morts récemment et de mort violente.

Sur les êtres vivants, les courants provoquent des sensations et des commotions, dont la vivacité, proportionnelle à l'intensité du courant, peut aller jusqu'à produire la mort. La commotion se fait sentir au moment où s'établit la communication qui détermine le courant et au moment où cette communication est interrompue. Pendant le passage continu du fluide, on n'éprouve qu'une sorte d'agacement nerveux et un léger frémissement des muscles. Cependant, si le courant continu est prolongé, il peut opérer des transports de fluides à travers les tissus organiques et rétablir ou modifier certaines fonctions vitales. Des poulets, soumis à l'action continue d'un courant intense, s'affaiblirent peu à peu et moururent. L'emplosie montra que les intestins avaient été refoulés vers le bassin et que le sang avait quitté certaines parties pour s'accumuler dans d'autres.

Une demi-heure après qu'ils ne donnaient plus aucun signe de vie, des cochons d'Inde, qu'on avait asphyxiés, furent placés dans un courant continu et furent peu à peu complètement ranimés. Sur d'autres animaux, on a pu, par le passage d'un courant, rétablir les fonctions de l'estomac, des intestins, des glandes, etc. De pareils résultats ont naturellement suggéré l'idée d'appliquer l'électricité à la médecine. (V. *ELECTRICITÉ MÉDICALE*, *GALVANO-CAUSTIQUE*, *THERAPEUTIQUE*.)

Les courants électriques agissent aussi sur la vie végétale ; ils peuvent diminuer la contractilité des vaisseaux lactifères et ralentir le mouvement circulaire de certaines plantes. Enfin, tantôt ils entravent, tantôt ils favorisent la germination, mais cela par un effet de décomposition de l'eau dans laquelle plongent les racines ou la graine. Les éléments acides transportés au pôle positif nuisent à la végétation ; tandis que les éléments alcalins transportés au pôle négatif la favorisent.

2^o Effets physiques. — Le principal effet phys-

que des courants consiste dans l'échauffement des substances qu'ils traversent. Un fil métallique placé dans un courant peut être porté au rouge, au rouge blanc, peut être fondu et même volatilisé. *Quand le fil est homogène, l'échauffement augmente avec l'étendue des couples de la pile; et ce fil est d'autant plus facile à échauffer qu'il est plus fin, plus court et plus mauvais conducteur.* C'est ce que Joule exprime par la loi suivante : *Lorsqu'un courant traverse un fil métallique homogène, la quantité de chaleur dégagée dans l'unité de temps est proportionnelle : 1° à la résistance que le fil oppose au passage du courant; 2° au carré de l'intensité de ce courant.*

Si le fil est composé de plusieurs autres fils soudés les uns au bout des autres, le passage du courant présente diverses particularités fort curieuses. D'abord la température change dans les soudures, suivant le sens du courant, c'est-à-dire suivant l'ordre des métaux parcourus. Par exemple, si le courant passe d'un fil de cuivre dans un fil de fer, la température, au point de jonction, est moins élevée que lorsqu'il marche en sens contraire. En outre, s'il y a plus de deux fils, et, par suite plusieurs soudures, elles s'échauffent inégalement, et même quelques-unes peuvent se refroidir. Peltier soudait une lame de bismuth entre deux lames de cuivre : sous l'action d'un faible courant, l'une des soudures s'échauffait, l'autre se refroidissait.

Les liquides traversés par des courants subissent sans doute aussi des effets thermiques; mais il est difficile d'en saisir la manifestation, à cause des actions chimiques provoquées par l'électricité.

Un courant peut aussi parcourir et échauffer des gaz. Lorsqu'on laisse une petite solution de continuité dans le fil rhéophore d'une pile en activité, l'intervalle qu'elle forme est traversé par une bande lumineuse, d'une chaleur et d'un éclat incomparables, à laquelle on a donné le nom d'*arc voltaïque*. (V. ARC, ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE, LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.)

Le passage d'un courant enlève à certains fils, notamment à ceux de cuivre, une partie de leur élasticité. Souvent la diminution d'élasticité n'a lieu que pendant le passage du courant et cesse aussitôt après. Mais l'effet mécanique le plus singulier des courants est le transport des liquides à travers une membrane ou une cloison poreuse. On a un vase de verre divisé en deux compartiments verticaux au moyen d'une membrane de vessie; l'un des compartiments est plein d'eau, et l'on y plonge l'électrode positive d'une forte pile; l'autre compartiment ne contient qu'un peu d'eau, dans laquelle plonge l'électrode négative. On voit l'eau baisser dans le compartiment plein et monter dans l'autre, si bien que le niveau, dans celui-ci, devient bientôt le plus élevé. De plus, la quantité de liquide transportée dans des temps égaux est proportionnelle à l'intensité du courant et paraît indépendante de l'épaisseur et de la surface de la membrane. Ce phénomène pourrait être rattaché à ceux que le courant produit dans les animaux sur le sang, et dans les végétaux sur la sève.

3° Effets chimiques. — Ils sont si nombreux et si importants qu'on en a fait l'objet d'une branche distincte de la science, sous le nom d'**ÉLECTRO-CHEMIE**. Nous renvoyons le lecteur à l'article consacré à cette science, ainsi qu'aux mots **GALVANOPLASTIE** et **ZONE**.

4° Effets magnétiques. — Si un fil métallique, traversé par un courant, est disposé parallèlement à une aiguille aimantée librement suspendue, l'aiguille quitte le méridien magnétique et se met en croix avec le courant, son pôle austral tourné à la gauche de ce dernier, si l'observateur qui le personnellement

garde l'aiguille. De cette simple observation, faite en 1820 par OErsted, est sortie une des plus belles et des plus fécondes sciences modernes, l'**ÉLECTRO-MAGNÉTISME**.

Action des courants sur les aimants. — La cause inconnue de l'action qui s'exerce entre le courant et l'aiguille s'appelle *force électro-magnétique*. Elle opère dans tous les sens et à travers toutes les substances, excepté au travers des substances magnétiques. Son intensité diminue à mesure qu'augmente la distance entre l'aiguille et le courant.

Mais le courant ne dévie pas seulement l'aiguille de sa position; il peut encore, lorsqu'elle est convenablement placée, lui imprimer un mouvement de rotation continu. Pour faire l'expérience, on fait passer le courant dans un cylindre rempli de mercure, au milieu duquel se tient debout, lesté par un contrepoids de platine, un aimant de forme cylindrique. Dès que le courant passe, l'aimant tourne sur lui-même avec d'autant plus de rapidité que la pile est plus puissante. Nous verrons, au mot **SOLÉNOÏDE**, comment Ampère explique cette rotation.

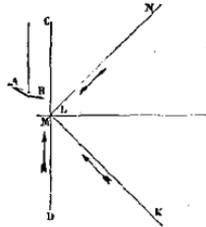


Fig. 4.

Laplace a démontré que l'intensité de l'action exercée par un élément du courant est en raison inverse du carré de la distance, comme toutes les forces connues, et proportionnelle au sinus de l'angle formé par la direction du courant et par la ligne menée du milieu de l'élément considéré au milieu de l'aimant. En évaluant d'après ce principe la somme des actions élémentaires exercées sur une petite aiguille aimantée par un courant rectiligne indéfini, on trouve que l'intensité de l'action du courant est en raison inverse de la simple distance.

Cette loi fondamentale a été démontrée expérimentalement par Biot et Savart au moyen de l'appareil représenté fig. 4. AB est une aiguille aimantée de 0^m,015 à 0^m,020 de longueur, suspendue à un fil de cocon, et garantie contre l'agitation de l'air par une cloche de verre. L'action magnétique de la terre est neutralisée par un barreau convenablement placé. CD représente la direction d'un gros fil de cuivre de 2 à 3 mètres de longueur, traversé par un courant. Ce fil, maintenu toujours verticalement, est porté successivement à diverses distances de l'aiguille; celle-ci se met en croix avec lui, ayant son pôle austral à gauche du courant. Si on l'écarte alors un peu de cette position, elle y revient par une série d'oscillations isochrones, dont le nombre dépend de l'énergie électro-magnétique. (V. MAGNÉTISME et BALANCE DE COULOMB.) Soient, dans une première expérience, d la distance du courant au milieu de l'aiguille, n le nombre d'oscillations exécutées dans un temps donné, et f la force qui les a provoquées;

dans une deuxième expérience, d , n' , f' les quantités analogues. On a

$$\frac{f}{f'} = \frac{n'^2}{n^2}$$

Ainsi, après avoir observé n et n' , et mesuré d et d' , il est facile de comparer les intensités des courants. Or, on trouve que

$$\frac{n'}{n^2} = \frac{d}{d'} \quad \text{d'où} \quad \frac{f}{f'} = \frac{d'}{d}$$

Si, au lieu d'être rectiligne, le courant est, comme KMN, composé de deux branches également inclinées par rapport au plan horizontal qui contient l'aimant, l'intensité de son action sur cet aimant varie toujours en raison inverse de la distance; mais, de plus, elle est proportionnelle à la tangente trigonométrique de la moitié de l'angle formé par les deux branches du fil. Cela revient à dire que l'intensité décroît avec l'angle: elle est maximum quand l'angle est de 180° , auquel cas le courant est rectiligne, comme CD; elle est minimum quand l'angle est nul, parce qu'alors les deux parties du courant sont superposées, et, par conséquent, s'entre-détruisent.

On pourrait, d'après les principes précédents, déterminer l'action mutuelle d'un aimant et d'un courant pour toutes les positions relatives qu'ils sont susceptibles d'occuper, pour toutes les formes qu'un courant peut revêtir, et pour les différents modes de suspension qu'on peut donner à l'aiguille aimantée. Et, d'un autre côté, on pourrait chercher à vérifier les résultats du calcul en faisant passer les courants à travers des conducteurs mobiles construits en fils flexibles. C'est ce qu'a fait l'illustre Ampère, et ce qui l'a conduit successivement à la découverte de toutes les lois de l'électro-magnétisme, et à proclamer l'identité des deux causes jusqu'alors distinctes qui produisent les phénomènes magnétiques et les phénomènes électro-dynamiques. Mais cette marche nous entraînerait dans des développements qui excéderaient les limites d'un article de dictionnaire. Nous nous bornerons à énumérer les principales conclusions de la théorie.

Aimantation par les courants. — En septembre 1820, Arago ayant plongé dans la limaille de fer une portion du fil conjonctif de la pile, vit la limaille s'attacher autour du fil comme autour d'un aimant, et y adhérer tant que le courant passait; mais elle se détachait et tombait dès que le circuit était rompu. D'un autre côté, les courants étant sans action sur les substances non magnétiques, il faut bien reconnaître que l'attraction qu'ils exercent n'est point due à l'électricité statique, mais à un principe analogue au magnétisme. Ne se pourrait-il pas, dès lors, que le courant aimantât les substances magnétiques, comme ferait un aimant? C'est ce que reconnaît Arago, en plaçant de petites aiguilles d'acier sur le fil rhéophore. Elles s'attachaient au fil et se mettaient en croix avec lui, comme dans l'expérience d'Ørsted, le pôle nord à gauche. On séparait alors les aiguilles du fil, et elles restaient aimantées. Ainsi l'électricité peut engendrer le magnétisme. Pour produire une aimantation plus énergique, on fait passer le courant dans une spirale qui entoure la substance à aimanter. Par exemple, on place le barreau d'acier dans un tube de verre, autour duquel on enroule en hélice le fil rhéophore de la pile, et l'on fait passer le courant. Le barreau d'acier est aimanté au bout de très peu de temps.

Si, au lieu d'acier, le tube contient un barreau de fer doux, l'aimantation est encore plus prompte; mais elle cesse dès que le courant est interrompu. (V. ELECTRO-

AIMANT. — V. aussi *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. 1^{er}, un travail étendu de M. Abria sur toutes les circonstances de l'aimantation par les courants.)

En aimantant les substances magnétiques, le courant développe dans leur masse des mouvements moléculaires encore peu connus et mal déterminés, qui se traduisent par des changements de forme, des vibrations sonores, des oscillations; d'où l'on serait induit à conclure que l'aimantation résulte d'un arrangement spécial des particules de la matière. Si cet arrangement persiste, on a un aimant permanent; si l'est passager, si les molécules reviennent à leur premier état d'équilibre, les effets magnétiques se montrent aussi passagers. Les molécules des corps, ou au moins de certains corps, seraient donc susceptibles de prendre et de garder une disposition magnétique, qui en ferait des aimants; de sorte que toute action mécanique capable de provoquer cette disposition devrait provoquer en même temps l'aimantation. C'est en effet ce qui semble résulter de quelques observations: on a vu du fer, de l'acier, etc., s'aimanter par la rupture, par l'échauffement, par la torsion, etc. De même on a vu des aimants perdre leur magnétisme par le choc ou la rupture, probablement parce qu'alors les molécules perdaient leur orientation magnétique.

Action des courants sur les courants. — L'expérience d'Ørsted révélait entre l'électricité et le magnétisme une relation qu'on n'avait point jusque-là soupçonnée, et qui parut être à Ampère assez intime pour lui faire supposer que les causes de ces deux genres de phénomènes, jusqu'alors considérées comme indépendantes, pourraient bien être les mêmes. Mais, pour que cette intuition fût légitime, il fallait de toute nécessité que deux courants quelconques exerçassent des actions mécaniques réciproques, et Ampère fut conduit ainsi à rechercher si, en réalité, ces actions existent. L'expérience confirma les vues de cet illustre physicien; il détermina les lois des attractions et des répulsions de deux éléments de courant, et il parvint ensuite à composer des conducteurs de forme telle, qu'étant traversés par un courant ils possèdent toutes les propriétés des aimants, dont ils expliquent rationnellement la constitution. C'est ainsi qu'Ampère interpréta le magnétisme par l'électricité, dans une théorie qui est une des plus fécondes de la physique. » (J. Jamin.)

Les actions réciproques des courants sont très variées; elles dépendent du sens des courants, de leur distance, de leur longueur; de là des calculs, souvent longs et pénibles, dont nous exposerons les principes essentiels au mot ELECTRO-DYNAMIQUE. Ici nous nous bornerons à faire connaître les faits.

Tout l'artifice des expériences consiste à rendre mobiles les conducteurs parcourus par les courants, pour les mettre en état de manifester librement les influences qu'ils subissent. On peut les rendre mobiles de plusieurs manières. Une des plus simples est celle qui a été réalisée par M. de La Rive dans l'appareil suivant (fig. 5). Un flotteur en liège,

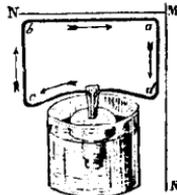


Fig. 5.

plongé dans de l'eau acidulée, porte, adhérent à sa surface inférieure, un couple zinc et cuivre, ou mieux un couple à charbon, destiné à produire un courant électrique. Les pôles de ce couple sont mis en communication, à travers la masse de liège, avec un fil de cuivre qui constitue un conducteur mobile. On peut augmenter l'intensité du courant en faisant faire à ce fil plusieurs circuits parallèles et isolés, comme dans le multiplicateur. Pour constater les diverses influences que ce courant peut recevoir d'un autre courant, on en approche un fil métallique MN, qui joint les deux pôles d'une pile en activité. Si le fil MN est présenté parallèlement au fil *ad* ou au fil *ab*, les déplacements du flotteur sur le liquide accusent des attractions ou des répulsions, suivant le sens des courants. Il y a attraction si les courants marchent dans le même sens, et répulsion s'ils marchent en sens contraire. Donc :

1° Deux courants parallèles s'attirent quand ils sont de même sens, et se repoussent quand ils sont de sens contraires.

2° Au moyen du même appareil, en croisant le fil MN avec *ab* ou *ad*, on reconnaît que : Deux courants croisés s'attirent quand ils marchent dans le même sens par rapport au point de croisement, et se repoussent quand ils marchent en sens contraires. Par « point de croisement », on entend un point quelconque de la perpendiculaire commune aux deux conducteurs.

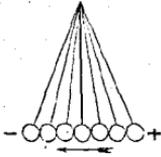


Fig. 6.

elles se touchent. Aux deux boules extrêmes sont soudés deux fils, communiquant chacun avec un des pôles d'une même pile. Pendant le passage du courant, on voit les boules extrêmes s'écarter, et des étincelles qui partent entre les autres boules indiquent qu'elles ne sont pas toujours en contact.

3° Deux courants contraires de même longueur, faisant partie d'un même circuit, s'annulent mutuellement. On démontre ce principe en présentant au conducteur flottant de la figure 5 un fil de cuivre replié sur lui-même et parcouru par un courant : le flotteur reste immobile.

4° L'action d'un courant rectiligne est la même que celle d'un courant sinusoïdal. On dispose près d'un courant mobile un fil de cuivre recourbé dont une branche est rectiligne et l'autre sinusoïdale, et l'on y fait passer un courant : le courant mobile ne bouge pas.

L'équivalence entre l'action d'un courant sinusoïdal et celle d'un courant linéaire, qui en est la projection, permet de remplacer un courant curviligne (pourvu qu'il soit peu étendu) par sa corde ou par ses deux projections faisant entre elles un angle quelconque.

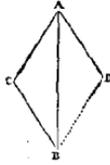


Fig. 7.

Réciproquement, une petite portion de courant rectiligne AB (fig. 7) peut être remplacé par une partie sinusoïdale ou polygonale ACB. On peut donc composer et décomposer les courants en leur appliquant la règle du parallélogramme des

forces, et par ce moyen prévoir, comme l'a fait Ampère, tous les phénomènes qui doivent se produire lorsque deux courants sont mis en présence l'un de l'autre, dans des conditions données.

Rotation d'un courant par l'action d'un courant. — Concevons un courant fixe indéfini PQ et un courant fini mobile MN, perpendiculaire à la direction du premier (fig. 8). Soit ON la perpendiculaire commune aux deux courants. Le point de croisement étant sur cette perpendiculaire,

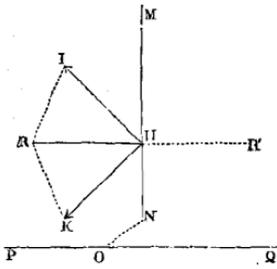


Fig. 8.

il y aura attraction entre les parties MN et PO, qui marchent vers le point de croisement. Cette attraction pourra être représentée par la droite HK. Au contraire, il y aura répulsion entre les parties MN et OQ, qui s'éloignent du point de croisement, et cette répulsion pourra être représentée par la droite HI. Par raison de symétrie, les deux forces HI, HK seront égales et également inclinées par rapport à MN. Leur résultante HR sera donc perpendiculaire au courant MN, et elle l'entraînera parallèlement au courant PQ, de Q vers P.

Si le courant MN marchait de N en M, il est aisé de voir que la résultante IIR l'entraînerait en HR, parallèlement au courant PQ, et dans le même sens que ce courant.

Supposons maintenant que le courant MN ne

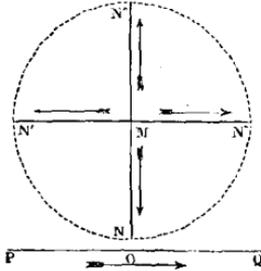


Fig. 9.

puisse pas se déplacer tout d'une pièce, mais qu'il soit mobile seulement autour du point M (fig. 9). Qu'arrivera-t-il ? Le courant MN sera à la fois repoussé par la partie OQ, et attiré par la partie PO. S'il était libre, il se dirigerait, en restant parallèle à lui-même, dans la direction MN'. Mais, comme

il est fixé au point M, il tournera autour de ce point et viendra prendre la position MN, parallèle à PQ. Les deux courants PQ et MN étant de sens contraires, ils se repousseront, et le courant MN continuera de tourner de la seule manière qui lui soit permise, en s'éloignant de PQ; il viendra alors occuper la position MN'. Dans cette position, le courant MN' est attiré par la partie OQ et repoussé par la partie PO. S'il était libre, il se déplacerait parallèlement à lui-même, suivant la direction MN"; mais il ne peut que tourner autour du point M; il viendra donc occuper la position MN", parallèle à PQ. Il sera alors attiré, et par suite reviendra à son point de départ, pour recommencer sa course tant que les piles resteront en activité.

Le même effet serait produit, si le courant fixe PQ était tangent en un point quelconque de la circonférence horizontale qui a MN pour rayon, ou s'il était remplacé par cette circonférence elle-même. C'est ce qu'on vérifie par l'expérience.

Courants terrestres. — Nous avons étudié plus haut l'action des courants sur les aimants. Le principe de l'égalité entre l'action et la réaction conduit à admettre que les aimants doivent aussi agir sur les courants, et, de fait, ils agissent d'une manière qui a été prévue par le calcul, puis vérifiée par l'expérience. (V. AIMANT, ÉLECTRO-MAGNÉTISME, MAGNÉTISME.) Parmi ces actions, il en est une où la terre semble jouer le rôle du courant indéfini fixe dans la rotation d'un courant horizontal mobile. Prenez un conducteur quelconque, mobile autour d'un axe vertical, et faites-y passer un courant. Il tournera de lui-même et prendra une direction déterminée, comme s'il était sous l'influence soit d'un aimant, soit d'un courant. Il se placera perpendiculairement au méridien magnétique, de manière que, dans la partie inférieure du circuit, le courant marche de l'est à l'ouest. Tout se passe comme s'il y avait dans l'équateur magnétique de la terre un courant indéfini allant de l'est à l'ouest. L'hypothèse de ce courant terrestre, expliquant ainsi les mouvements spontanés des courants mobiles, a été introduite par Ampère. Ce physicien considérait le globe terrestre comme sillonné par des courants intérieurs parallèles à l'équateur magnétique. Pour faciliter les calculs, on peut ramener l'ensemble des actions de tous ces courants à l'action d'un seul courant hypothétique, auquel on attribue une intensité et une position convenables pour rendre compte des effets. C'est ce courant qui a été appelé *courant moyen de la terre*. Nous exposons, dans l'article consacré au magnétisme, les hypothèses par lesquelles on a prétendu expliquer l'origine des courants terrestres.

Courants telluriques. — Courants qui se manifestent dans une ligne télégraphique lorsqu'on met ses deux extrémités à la terre.

Les courants telluriques ont été étudiés en France par M. Blavier, et en Angleterre par M. C.-V. Walker.

M. Blavier se sert à cet effet d'un appareil enregistreur composé essentiellement d'un mouvement d'horlogerie faisant dérouler, avec une vitesse uniforme, une bande de papier sensible de 0,21 de largeur, devant une fente par laquelle arrivent les rayons lumineux d'une lampe réfléchis par des GALVANOMÈTRES à miroir, système Marcel Deprez et d'Arsonval.

M. Blavier faisait ses études à l'aide de fils télégraphiques aériens et souterrains mis à sa disposi-

tion par l'administration et dont les extrémités sont en communication avec la terre. Il possédait ainsi un circuit complet parcouru par des courants telluriques; ce qu'il importe de mesurer, ce n'est pas l'INTENSITÉ de ces courants, qui varie suivant la résistance du circuit, mais leur POUCE ELECTROMOTRICE. Dans ce but, M. Blavier avait rendu constante la résistance totale du circuit au moyen de rhéostats convenablement choisis et l'avait fixée à 19.000 ohms. Chaque matin on prenait les constantes des galvanomètres.

Les indications de ces instruments sont traduites par des tracés photographiques. Ce qui se dégage de l'examen de ces tracés, c'est que la direction et l'intensité des courants telluriques dépendent uniquement de la différence de potentiel entre les deux points où le fil conducteur est en communication avec la terre et sont indépendants de son trajet. Ainsi, de Paris à Nancy, deux fils, l'un aérien passant par Châlons et l'autre souterrain passant par Reims, fournissent toujours des courbes identiques.

On peut de plus en conclure, dit M. Blavier, que, contrairement à une opinion généralement admise, les lignes souterraines ne sont pas plus influencées que les lignes aériennes par les courants telluriques. Si ces courants troublent un peu plus les transmissions sur les lignes souterraines, cela tient, d'une part à la meilleure conductibilité de ces lignes qui sont en cuivre, et d'autre part à l'emploi de piles plus faibles et d'appareils récepteurs plus sensibles.

Les courants telluriques varient constamment de sens et d'intensité; parfois, au milieu d'une période relativement calme, on observe un courant qui s'accroît assez rapidement pendant une heure ou deux, puis décroît et change de sens. Il est encore assez difficile d'indiquer à quelle loi obéissent ces courants, surtout pour ceux circulant dans les lignes allant de l'est à l'ouest. Pour celles qui vont du nord au sud, les courbes montrent que dans la matinée, de neuf heures à midi, le courant marche toujours du nord au sud et atteint son maximum d'intensité vers dix heures trente minutes. Les courants telluriques ont évidemment une liaison intime avec les variations du MAGNÉTISME TERRESTRE. Ils peuvent en être, soit la cause, soit l'effet. Cette question ne pourra être résolue que par une comparaison des courbes électriques et des courbes magnétiques. L'étude attentive des premières permettra également de décider si les mouvements du soleil et de la lune ont une influence inductrice, comme le pensent quelques physiciens.

En tout cas, l'existence de ces courants montre qu'il peut y avoir à certains moments des différences de potentiel entre deux points de la surface de la terre. On n'est pas encore bien fixé sur la cause de ces différences.

Voici maintenant, d'après M. Gordon (*Traité expérimental d'Électricité*), le résumé des conclusions de M. Walker.

« Il y a à tout moment des courants électriques circulant dans le sol dans des directions définies; leur direction ne dépend pas de causes locales; il n'y a pas de différence apparente, sauf dans l'intensité, entre les courants observés pendant les grandes perturbations magnétiques et ceux des périodes ordinaires de calme; les directions les plus fréquentes des courants de terre sont à peu près le N.-E. et le S.-O.; il n'y a pas de différence marquée de fréquence, de durée ou d'intensité entre les courants allant au N.-E. ou au S.-O.

« Durant les périodes de calme, du moins, il y a des courants définis, moins fréquents, partant de certains

lieux dans les quadrants S.-E. et N.-O. respectivement.

« La direction du courant dans une partie d'un plan à la surface de la terre (pour la partie S.-E. de l'Angleterre tout au moins) coïncide avec la direction du courant dans une autre partie du plan; si la direction change en un point, elle change en tous les points du plan.

« Il n'y a pas de relation constante entre l'intensité du courant en un point du plan et celle en un autre point; l'intensité dépend des conditions météorologiques locales, et varie de temps en temps. L'intensité d'un courant de longueur donnée, circulant dans une direction donnée, n'est pas nécessairement la même que celle d'un courant de même longueur circulant dans le prolongement du premier; la valeur relative de ces intensités dépend de la nature physique du sol qui sépare les points d'observation respectifs; elle est assez constante.

« Les courants qui ont servi de fondement à cette étude sont des courants dérivés de courants terrestres proprement dits et véritables; ni en tout ni en partie appréciables ils n'ont été recueillis dans l'atmosphère; ni en tout ni en partie appréciables ils ne sont dus à la polarisation des plaques de terre par le passage préalable de courants terrestres ou de courants télégraphiques énergiques; ils ne sont pas dus non plus à des forces électromotrices résidant dans les plaques de terre elles-mêmes. Les courants de terre ou question (ou du moins les courants puissants qui se manifestent toujours au moment des grandes perturbations magnétiques) exercent sur les MAGNÉTOMÈTRES une action *diverte*, exactement comme des courants artificiels renfermés dans un fil métallique exercent une action directe sur un aimant. »

« A ces renseignements sur les courants telluriques, nous croyons devoir joindre ceux qui résultent d'expériences poursuivies depuis quelques années à Tortose, par M. J. Landerer: 1° le potentiel qui se rapporte au courant tellurique est extrêmement faible; 2° l'effet du vent est d'électriser, non pas précisément le fil d'une ligne aérienne, mais bien la terre, où il développe un courant de même sens que lui, se propageant à travers le sol où il occupe une très large section. Suivant M. Landerer, la cause du magnétisme terrestre ne peut pas résider dans le courant tellurique local ou régional de nos contrées, les inversions de ce courant ne pouvant se concilier avec l'orientation à peu près permanente de l'aiguille aimantée. Mais il pense que les alizés, les moussons et les vents constants du grand Océan remplissent toutes les conditions de portée et de persistance d'action. Ainsi, ce seraient les alizés qui, sur l'Océan Atlantique et sur une partie notable des continents qui le bordent, régiraient l'orientation N.-S. de l'aiguille. Sur nos contrées, l'action de l'alizé nord tendant à prévaloir, expliquerait la déviation vers l'est du pôle boréal de l'aiguille. Le siège des forces électriques mises en jeu ne serait donc pas au-dessus de l'aiguille, mais au-dessous. Une variation de la direction ou de l'intensité des alizés entraînerait la variation de la direction de l'aiguille, et, en définitive, le phénomène serait commandé par les variations de l'intensité des radiations solaires; c'est ainsi que s'expliquerait la concomitance des maxima des taches du soleil avec la recrudescence de l'activité magnétique.

Courants astatiques. — Deux courants dont les effets réciproques contre-balaçent l'action qu'un troisième courant exercerait sur chacun d'eux solétement sont dits *astatiques*. Il importe, dans les

expériences d'électro-dynamique, de pouvoir annuler l'intervention de la terre, qui empêcherait de rapporter les mouvements produits à leurs véritables causes. Pour cela, chaque expérience devrait être répétée une seconde fois, mais en renversant le courant fixe, de manière à changer le sens de l'action sur le courant mobile. Le courant mobile subirait ainsi successivement deux déviations contraires qui, si la terre n'agissait, seraient égales, et dont la différence représenterait précisément l'action de la terre, de façon qu'on pourrait en tenir compte.

L'emploi des courants astatiques permet d'éviter la répétition des expériences. Les circuits sont repliés de manière à former deux figures (rectangles, circonférences, etc.) que le courant parcourt en sens inverses; l'action de la terre sur l'une des moitiés est ainsi contre-balancée par son action contraire sur l'autre.

Courants de Foucault. — On donne le nom de courants de Foucault à des courants qui se manifestent lorsqu'on fait passer une masse métallique dans un champ magnétique.

Arago a le premier constaté qu'en faisant tourner un disque de cuivre séparé par une membrane d'un aimant librement suspendu par son centre de gravité cet aimant était entraîné dans le sens de la rotation du disque. Après Arago, Faraday a fait l'expérience suivante: il plaçait entre les deux pôles d'un fort aimant le bord d'un disque de cuivre, mobile autour d'un axe et dont la circonférence plongeait dans du mercure. En établissant à l'aide d'un frotteur une communication entre l'axe du disque et un galvanomètre, et en réunissant l'autre borne du galvanomètre avec le bain de mercure, on constatait la production d'un courant dès qu'on faisait tourner le disque. Barlow, en employant la même disposition, faisait passer un courant de pile de l'axe du disque à sa circonférence et constatait que le disque se mettait à tourner (v. BARLOW [Roue de]). Enfin Foucault, en se servant de l'appareil représenté à la fig. 10.

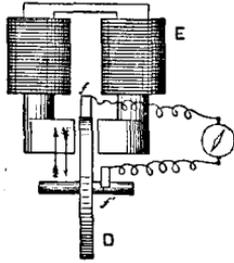


FIG. 10.

Disposition théorique de l'appareil de Foucault.

et dans lequel le disque de cuivre D tourne entre les deux pôles d'un puissant électro-aimant E, a constaté que la résistance opposée au mouvement du disque par l'action du champ magnétique de l'électro-aimant était considérable; si on développait alors un effort suffisant pour continuer à faire tourner le disque, ce dernier s'échauffait; enfin en disposant des frotteurs *f* et *p* sur la circonférence du disque et sur son axe, on reconnaît qu'un courant ayant peu de force électromotrice mais une grande intensité prend naissance. Le sens de ce courant est toujours perpendiculaire à la fois

au champ magnétique et à l'axe de rotation du disque, ainsi que le montrent les flèches.

Tous ces phénomènes sont réversibles autrement dit : de même qu'une masse de cuivre tournant entre les pôles d'un électro-aimant est parcourue par un courant, de même, lorsque la masse du cuivre en rotation est parcourue par des courants, il se manifeste dans les pièces métalliques de l'électro-aimant une série de courants de sens inversés.

Les courants de Foucault sont possibles dans le fonctionnement des machines dynamo-électriques, d'abord parce que, par suite de l'échauffement qu'ils produisent, ils rendent la machine moins conductrice et diminuent par conséquent l'intensité du courant qu'elle fournit; ensuite, ces courants diminuent le rendement de la machine, puisqu'ils correspondent à une dépense d'énergie en pure perte.

L'appareil de Foucault, modifié par Tyndall et représenté fig. 11, permet de réaliser l'expérience de Faraday et de démontrer l'existence des courants de

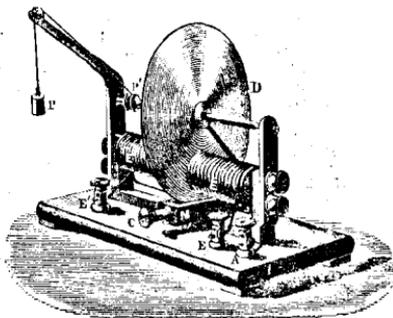


Fig. 11. — Appareil de Foucault modifié par Tyndall.

Foucault et leur réversibilité. Il se compose essentiellement d'un disque de cuivre D monté sur un axe et pouvant tourner entre les pôles d'un électro-aimant E E'. Une poulie P, montée sur l'axe du disque D, peut lui imprimer un mouvement de rotation au moyen du poids P. D'autre part, en reliant les deux pôles d'une pile aux bornes A et C, respectivement en relation avec l'axe du disque par le bâti de l'appareil et avec un bain de mercure M où plonge légèrement le bord du disque D, on fait passer un courant dans ce dernier. On peut alors faire les expériences suivantes :

1^o Quand le courant de la pile actionne l'électro-aimant E E' et passe par les bornes A et C, le disque D se met à tourner dans un sens ou dans l'autre, suivant le sens du courant (expérience de Barlow).

2^o Quand le courant de la pile passe dans l'électro-aimant E E' et que les bornes A et C sont en relation avec un GALVANOMÈTRE, si le poids P est suffisamment lourd pour faire tourner le disque, on constatera la production d'un courant continu de tel ou tel sens, suivant le sens de la rotation (expérience de Faraday).

3^o Quand on met le disque en mouvement par l'action du poids P, si l'on fait passer brusquement le courant dans les électro-aimants E E', le disque s'arrête; si le poids P est augmenté de manière à vaincre la résistance qui s'oppose à la rotation, on

COURBE MAGNÉTIQUE — CRUIKSHANK

remarque que le disque s'échauffe (expérience de Foucault).

Courant axial. — (V. AXIAL.)

Courant faradique. — Courant obtenu par un appareil d'induction. (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE et FARADISATION.)

Courant galvanique. — Courant obtenu par un appareil à courant continu (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE). Nom donné aussi au courant fourni par une pile.

Courant d'induction. — (V. INDUCTION.)

COURBE MAGNÉTIQUE. — 1^o Courbes magnétiques d'un aimant. — Courbes indiquant la position des LIGNES DE FORCE DU CHAMP MAGNÉTIQUE de cet aimant, lignes dont le nombre est proportionnel à l'intensité du magnétisme.

2^o Courbes magnétiques du globe. — Lignes qui, étant tracées sur une carte, indiquent les points d'égalité d'INCLINAISON ou d'égalité DÉCLINAISON. On appelle *isoclines* les lignes d'égalité d'inclinaison et *isogones* les lignes d'égalité de déclinaison.

COURT-CIRCUIT. — Une pile ou une machine est dite mise en court-circuit lorsque ses deux pôles sont réunis par un conducteur métallique de résistance nulle ou pratiquement nulle.

COUTEAU. — Organe du récepteur Morse, qui soulève la bande de papier et l'applique contre la molette imprégnée d'encre. (V. TÉLÉGRAMME.)

CRAMPE TÉLÉGRAPHIQUE. — Affection nerveuse qui atteint les télégraphistes et les empêche de transmettre; analogue à la crampe des écrivains.

CREUSET ÉLECTRIQUE de Siemens. — (V. MÉTALLURGIE ÉLECTRIQUE.)

CRIBLE ÉLECTRIQUE. — Appareil destiné à séparer le son de la farine. Il se compose essentiellement d'une auge en bois oscillante dans laquelle circulent les produits de la mouture. Au-dessus se trouvent une série de cylindres en ébonite animés d'un mouvement de rotation et constamment frottés par des coussins en peau de mouton qui servent d'une part à électriser les cylindres et d'autre part à recueillir le son, qui, en vertu de sa légèreté, est attiré par eux.

CROCODILE. — Nom donné au contact fixe placé sur une voie de chemin de fer et en communication avec une source d'électricité, destiné à transmettre au train qui le franchit un signal donné. (V. SIFFLET ÉLECTRO-AUTOMOTEUR.)

Cruikshank (William), savant anatomiste anglais, né à Edimbourg en 1746, mort en 1808. Il fut le disciple et le successeur de W. Hunter, qui lui légua en mourant son riche cabinet. Il occupa beaucoup de physique et de chimie. Après avoir vérifié le fait de la décomposition de l'eau par la pile, que Nicholson et Carlisle venaient de découvrir, Cruikshank reconnut que toujours, et quel que fût le conducteur employé, il se formait un acide libre autour de l'extrémité du pôle positif, et qu'en même temps un principe alcalin apparaissait au pôle

négalif. Cette première observation conduisit Cruikshank à une conséquence inattendue. Ayant ajouté une petite quantité d'acide acétique à de l'eau pure, dans laquelle plongèrent deux fils d'argent qui servaient d'électrodes, il remarqua que l'argent entraînait en partie en dissolution, mais qu'il reparaissait bientôt après à l'état métallique sur le fil négatif. Il appliqua ces résultats à des recherches sur la précipitation des métaux ; mais ses efforts en ce sens furent à peu près infructueux ; il n'obtint que des dépôts pulvérulents, lamelleux ou cristallins, et point de couches continues et adhérentes, telles qu'il les fallait pour conduire à la dorure et à l'argenture. Son principal ouvrage a pour titre : *Anatomie des vaisseaux absorbants* (1786), traduit en français par Petit-Radel (1787, in-8°). C'est un livre précieux pour l'anatomie des vaisseaux lymphatiques. Nous citerons encore de lui : *Remarques sur deux cas de diabète* (1791, 2 vol. in-8°), traduit en français par Alyon ; *Observation sur la cause et la cure des fièvres bilieuses* (1798, in-8°).

CRYPTOTÉLÉGRAPHIE (du grec *kryptos*, caché, et fr. *télégraphie*). — Procédé employé pour rendre un TÉLÉGRAMME indéchiffrable pour toute personne que l'expéditeur et le destinataire. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

CUIVRAGE DE LA FONTE. — Procédé électrolytique à l'aide duquel on recouvre les objets en fonte d'une couche de cuivre destinée à les protéger. On distingue deux modes d'application distincts : le premier, dit *procédé Ondry*, consiste à enduire d'abord les objets de fonte d'un vernis résistant, que l'on plombagine ensuite et que l'on recouvre d'une couche de cuivre, en les plongeant dans un bain de sulfate de cuivre suivant les procédés galvanoplastiques (V. GALVANOPLASTIE) ; le deuxième consiste à recouvrir la fonte d'un cuivrage adhérent, directement appliqué sur les objets à cuivrer ; on emploie pour cela deux sortes de bains, de là, deux modes d'application : l'un, dû à M. Weil, réside dans l'emploi d'un bain acaïn ; l'autre, dû à M. Gaudin, réside dans l'emploi de bains acides d'oxalate double de cuivre et d'ammoniaque. (V. GALVANOPLASTIE.)

CUIVRE (Pôle). — Se dit parfois au lieu de **PÔLE POSITIF** d'une pile. Cette expression est d'ailleurs souvent appliquée très improprement.

CUNÆUS (Pierre), savant hollandais du XVIII^e siècle, sur lequel on n'a point de détails biographiques.

C'était un descendant du célèbre anatomiste Cunæus (Pierre, Van der Kunt). Il faisait partie de cette société érudite d'observateurs de la nature qui formaient une sorte d'école autour de Musschenbroeck, et au sein de laquelle fut faite la fameuse expérience de la *bouteille de Leyde*. Tandis que les Allemands attribuent cette expérience à de Kleist, doyen du chapitre de Camin, en Poméranie, et que les Hollandais et les Français prétendent qu'il faut la rapporter à Musschenbroeck lui-même, un grand nombre d'auteurs pensent que l'honneur doit en revenir à Cunæus. « Musschenbroeck et ses amis, au nombre desquels était Cunæus, dit M. Hoefler, avaient observé que des corps qui, après leur électrisation, étaient exposés à l'air, surtout à l'air humide, laissaient promptement échapper leur électricité, de manière à n'en conserver qu'une faible partie. Cette observation leur suggéra la pensée que si l'on emprisonnait les corps électrisés dans d'autres corps *électriques par nature*, ou *idio-électriques*, c'est-à-dire non conducteurs de l'électricité on pourrait arriver à augmenter leur puissance. Ils renfermèrent donc de l'eau dans des bouteilles de verre et les firent servir à leurs expériences. Mais les résultats ne répondant pas à leur conception, ils allaient y renoncer, lorsque Cunæus, selon les uns, Musschenbroeck, suivant les autres, éprouva tout à coup (en 1748), une commotion épouvantable : la bouteille d'eau, qu'il tenait d'une main, communiquait au moyen d'un fil de fer avec le tube électrisé, pendant qu'il essayait d'en détacher ce fil avec l'autre main. Ce fut là l'expérience de *Leyde*, que répétèrent bientôt Allamand et Winckler, puis une foule de physiiciens et de curieux. »

CURB-SENDER AUTOMATIQUE. — Appareil imaginé par MM. Thomson et Jenkin pour envoyer dans une ligne télégraphique sous-marine successivement deux courants de sens contraire, le premier ayant une plus longue durée que le second, afin de faciliter la lecture des signaux transmis et d'augmenter la vitesse de transmission. Cet appareil repose sur un principe analogue à celui du transmetteur automatique de Wheatstone. Il perce une bande de papier sur deux lignes parallèles. Les perforations de l'une des lignes correspondent à l'émission de courants directs, celles situées sur l'autre ligne à l'émission de courants inverses. On comprend que si ces perforations se succèdent dans un ordre et à des distances convenables on peut émettre des courants satisfaisant à la condition indiquée plus haut.

CUTOFF. — (V. COUPE-CIRCUIT.)

Dalibard (Thomas-François), botaniste et physicien français, né à Cranres (Maine) en 1703, mort à Paris en 1799. Il termina ses études à Angers, où il se lia avec Buffon, dont il avait été le premier maître de mathématiques. Il publia en 1749, sous le titre de *Flora parisiensis prodromus*, avec quatre planches, une esquisse de la flore des environs de Paris, où il classe les plantes selon la méthode de Linné, qu'il a été l'un des premiers à introduire en France. Il devança d'un mois Franklin dans sa célèbre expérience sur l'électricité atmosphérique ; mais il est juste d'ajouter que c'est Franklin qui en avait eu l'idée. Le 10 mai 1752, une longue tige métallique que Dalibard avait établie dans un jardin de Marly-la-Ville donna des étincelles pendant un orage. Il répéta l'expérience en présence de Louis XV, qui lui accorda une pension de 1.200 livres. Il avait donné peu auparavant une *Théorie abrégée de l'électricité*, suivie d'une traduction des écrits de Franklin sur cette matière (Paris, 1732). On a aussi de lui une traduction de l'*Histoire des Incas*, de Garcilaso de la Vega.

Daniell (Jean-Frédéric), physicien et chimiste anglais, né à Londres en 1790, mort en 1845. Destiné d'abord au commerce, il renonça bientôt à cette carrière pour se donner tout entier à l'étude des sciences, devint en 1814 membre de la Société royale de Londres, et fonda en 1816, avec le concours de Brande, la *Revue trimestrielle de la science et de l'art* (*Quarterly Journal of science and art*), dont les vingt premiers volumes furent publiés sous leur direction commune. Daniell devint successivement directeur de la Compagnie continentale du gaz, professeur de chimie au *King's College* (Collège du roi), lors de la création de cet établissement (1831), et examinateur pour la chimie à l'université de Londres. A sa mort, une souscription fut ouverte au *King's College* pour lui ériger une statue dans cet établissement. On a de lui : *Essais météorologiques* (1823), ouvrage remarquable, le premier dans lequel on ait essayé d'expliquer les phénomènes généraux de la météorologie par les lois qui régissent la température et la composition des gaz et des vapeurs ; *Essai sur le climat artificiel* (1824), traité qui, d'après un critique éminent, le docteur Lindley, a opéré une révolution complète dans les méthodes d'horticulture pratiquées jusqu'à ce jour ; *Introduction à la philosophie chimique* (1839), traité remarquable sur l'action des forces moléculaires en général, quoique l'auteur, dans sa préface, déclare modestement que son livre n'est qu'une introduction aux découvertes de Faraday et à leur application à la chimie. Il a laissé en outre un grand nombre de *Mémoires*, dont plusieurs ont été couronnés par la Société royale de Londres. On lui doit l'invention d'un pyromètre auquel la Société royale de Londres décerna, en 1832, la médaille de Rumford ; enfin celle de l'hygromètre à condensation, qui n'a pu être que perfectionné par M. Regnault, et qui restera comme

le premier fondé sur un principe vraiment scientifique. En 1836, il perfectionna la pile à deux liquides inventée par Becquerel en 1829 ; et ces perfectionnements étaient si importants, que la pile au sulfate de cuivre et à l'eau acidulée sulfurique s'appelle encore aujourd'hui *PILE DANIELL*, quand elle conserve la forme que lui avait donnée ce physicien.

DANSE ÉLECTRIQUE — Mouvements que l'on imprime à de petites figures légères en les plaçant entre deux plateaux chargés des électricités de noms contraires.

Davy (sir Humphry), chimiste anglais, créé baronnet par George IV en 1818, né à Penzance, bourg du comté de Cornwall, le 17 décembre 1778, mort à Genève (Suisse) le 29 mai 1829. Il était l'aîné de cinq enfants. Son père, qui, après avoir exercé sans profit l'état de sculpteur sur bois et de dorure, s'était retiré dans une propriété qu'il possédait, mourut en 1794, laissant sa veuve dans une situation fort triste. Le jeune Humphry avait profité avec ardeur du peu de moyens qu'il avait trouvés de s'instruire. Livré à lui-même, il en profitait pour parcourir en poète les sites qui environnent sa ville natale et s'essayait à en décrire les beautés, lorsque la mort de son père vint l'arracher à ses plaisirs favoris. Sa mère, réduite à ouvrir une petite boutique de modes et à fonder une pension bourgeoise pour les étrangers, le plaça chez un pharmacien, en qualité d'aide apprenti. Heureusement son maître le chargeait de toutes les courses, et Davy trouvait souvent à satisfaire son désir d'apprendre. Un des fils du célèbre Watt étant venu passer quelque temps chez M^{me} Davy, Humphry chercha obstinément les moyens de se faire remarquer de lui, et, pour pouvoir lier connaissance, se mit à dévorer la chimie de Lavoisier, qui lui révéla sa vocation. Soit fantaisie, soit intuition, il se prit à se persuader que la théorie de la combustion de notre illustre compatriote laissait beaucoup à désirer ; il fit part de son opinion à Watt, et l'appuya d'expériences assez ingénieuses, de raisonnements assez subtils pour attirer l'attention de son interlocuteur. C'était le seul but qu'il se fût proposé ; mais le goût des recherches scientifiques était né en lui, et il trouva une carrière brillante là où il n'avait cherché qu'une distraction passagère. Encouragé par Watt, il adressa au docteur Thomas Beddoes, pour le recueil scientifique qu'il publiait, un mémoire sur la chaleur et la lumière, où il essayait de ruiner la théorie de Lavoisier, et un autre sur la respiration des plantes marines et leur action sur l'eau dans laquelle elles vivent. Beddoes s'empressa de l'appeler près de lui dans son Institution pneumatique, établissement médical où il traitait les maladies du poulmon. Le contrat d'apprentissage du jeune Davy fut résilié sans difficulté par son patron, qui ne le regardait que comme un pauvre sujet. Heureusement Beddoes en jugeait autrement ;

il s'empressa de mettre à la disposition de son jeune ami un laboratoire et même son amphithéâtre, pour y donner des leçons. C'est dans l'institution pneumatique que Davy reconnut, en 1800, l'action *exhilarante* du protoxyde d'azote, découvert depuis vingt-quatre ans par Priestley, et qu'il fit sur lui-même une série d'expériences relatives aux actions physiologiques de la vapeur du charbon.

Le comte de Rumford venait de fonder à Londres l'Institution royale, destinée à propager les découvertes scientifiques applicables à l'industrie et à tous les arts utiles; il s'était brouillé avec son professeur de chimie, le docteur Garnett; les amis de Davy imaginèrent de lui proposer. La présentation fut aussi pénible que le comportait le caractère de Rumford; cependant le jeune candidat obtint la faveur de pouvoir faire quelques leçons sur les propriétés des gaz, dans une chambre particulière de la maison. Il n'en fallait pas davantage: la variété des idées, la clarté, la vivacité du nouveau professeur enchantèrent bientôt le public, et l'on se vit aussitôt obligé de lui offrir le grand amphithéâtre. Sa jeunesse, sa jolie figure l'ayant mis à la mode, il se laissa aller volontiers aux douceurs d'une existence si nouvelle pour lui, sans jamais perdre de vue pourtant les intérêts de la science.

Sa rapide élévation paraissait avoir été mesurée à la brièveté de la carrière qu'il lui était réservé de parcourir; mais sa faible organisation lui imposait une activité proportionnée. Nommé membre de la Société royale en 1803 et secrétaire de cette Société en 1806, on le voit couronné par l'Institut en 1807, associé à ce corps en 1817, fait baronnet en 1818, élevé enfin à la présidence de la Société royale en 1820. L'énumération parallèle de ses travaux montrera que de si grands honneurs étaient bien mérités.

Dès 1801, Davy avait construit une pile puissante différente de celle de Volta, dans laquelle un seul métal alternait avec deux liquides; en 1802, il donnait les premiers exemples de décompositions chimiques par la pile; en 1806, il formulait cette idée hardie que *l'affinité chimique n'est autre que l'énergie des pouvoirs électriques opposés*; peu de temps après, il décomposait la potasse et la soude et obtenait deux nouveaux métaux dont les remarquables propriétés ajoutaient encore à l'éclat de leur découverte. C'est lui qui a donné leurs noms au *potassium* et au *sodium*. Il avait conservé une sorte de rancune enfantine à la théorie de la combustion, et il y cherchait partout des exceptions. La décomposition des alcalis fixes en métaux et en oxygène, jusqu'alors inconnue, venait déjà de porter un coup assez rude à cette théorie, en montrant l'oxygène aussi bien producteur de bases que d'acides; mais Davy voulait absolument détrôner l'oxygène. L'acide muriatique lui fournit enfin, en 1810, l'exemple qu'il cherchait depuis si longtemps. Les chimistes s'efforçaient en vain depuis Scheele de découvrir le radical de cet acide; on se perdait dans les dénominations d'acide muriatique *e pur*, déphlogistiqué, oxygéné; on s'égarait encore davantage dans les théories qui avaient donné lieu à ces appellations. Gay-Lussac et Thénard venaient bien d'émettre l'hypothèse qui devait trancher la question, mais ils n'osaient pas la formuler catégoriquement. C'est Davy qui proclama le chlore un corps simple et qui le baptisa. Les découvertes de l'iode et du fluor vinrent bientôt après confirmer la théorie de Davy.

Sa réputation était devenue telle, que les industriels ne croyaient plus que rien lui fût impossible. Une terrible explosion étant venue frapper un grand nombre d'ouvriers dans une mine de Cornouailles,

un comité de propriétaires de mines vint porter à Davy l'invitation d'indiquer les moyens de prévenir de tels accidents. La question était pressante, mais difficile; Davy la résolut en quelques mois par l'invention de sa lampe de sûreté, qui a depuis sauvé la vie à des milliers de travailleurs. Cette découverte est d'autant plus belle qu'elle n'a rien de forluit, la question exigeant une solution d'autant plus prompte qu'il s'agissait de vie et de mort. Davy se mit aussitôt à l'étude; il commença par analyser le grisou, se rendit compte des proportions dans lesquelles son mélange avec l'air le rendait dangereux, expérimenta l'explosion du mélange dans différents réservoirs, et ayant remarqué que la combustion des deux gaz donnait assez peu de chaleur pour que l'interposition de diaphragmes solides arrêtât la propagation de la flamme, il en vint bientôt, après quelques essais, à proposer l'emploi de toiles métalliques pour isoler l'intérieur de la lampe de l'air répandu dans les galeries de la mine.

Il semblait, dit Cuvier, que l'on pût désormais commander à Davy une découverte comme on commande à d'autres une fourniture. L'amirauté, préoccupée des dépenses qu'exigeaient l'entretien et le renouvellement des armures de cuivre dont on recouvrait les coques des navires, lui demanda, en 1823, un préservatif pour empêcher la rapide oxydation; la réponse ne se fit pas davantage attendre. Davy, après avoir constaté que l'alération du cuivre était produite par le sel marin, qui lui-même se décomposait pour donner lieu à la formation d'un chlorure de cuivre, imagina simplement de fixer les plaques par des clous de fer, qui formeraient avec le cuivre des ÉLÉMENTS où ce dernier métal, chargé d'électricité négative, perdrait la faculté d'agir sur la dissolution saline.

La santé de Davy allait en déclinant depuis 1818. Il s'était fait donner alors un million à Naples, pour aider de ses connaissances la commission des fouilles d'Herculaneum. L'activité de son intelligence était toujours la même, mais le goût des rêveries poétiques lui était revenu. Pendant les hivers de 1827 et de 1828, qu'il passa en Italie, il écrivit, sous le titre de *Salmonia*, le récit intéressant de ses voyages et de ses observations sur l'histoire naturelle, et les *Consolations en voyage*, que Cuvier appelle l'œuvre d'un Platon mourant et où l'on retrouve ces douces rêveries et ces vagues pensées qui avaient enchanté sa jeunesse. Atteint d'une hémiplegie du côté droit, il succomba à une dernière attaque, à Genève, le 29 mai 1829. Il était membre titulaire ou correspondant de la plupart des sociétés savantes de l'Europe. Sa veuve fonda en son souvenir de lui un prix de chimie, que l'Académie de Genève décerne tous les deux ans; quand elle mourut, en 1868, elle légua à la Société royale de Londres, pour que le prix en fût employé à de nouvelles récompenses scientifiques, un magnifique service d'argenterie valant 100.000 francs, que les propriétaires de mines avaient offert par souscription à Davy pour lui témoigner leur gratitude, après sa découverte de la lampe de sûreté.

DÉBIT. — On désigne ainsi le nombre d'AMPÈRES qui traversent un conducteur à un instant donné. On a voulu, en employant cette expression, rapprocher ce fait « que la quantité d'électricité qui traverse un conducteur fermé sur lui-même est constante, une fois le régime permanent établi, en quelque point que l'on considère sa section », de cet autre « que la quantité d'eau qui traverse une conduite également fermée sur elle-même est constante, en tous ses points, lorsque le régime est devenu permanent ».

DÉCHARGE. — Ce mot est employé pour désigner des phénomènes très différents; ainsi :

1° Lorsqu'on rapproche, à l'aide d'un arc métallique, les deux armatures d'un condensateur d'électricité statique tel qu'une bouteille de Leyde, par exemple, on obtient une décharge d'électricité, caractérisée par une étincelle si les extrémités de l'arc ont une forme arrondie, par des AIGRETTES faiblement lumineuses si ces extrémités sont en pointe ou à arêtes vives.

2° Lorsqu'on met un PENDULE ÉLECTRIQUE formé soit d'une boule de sureau, soit d'une boule métallique suspendue par un fil isolant, à égale distance des deux armatures d'un condensateur, la boule est attirée et repoussée alternativement par chaque armature, et le condensateur se décharge ainsi d'une façon lente. (V. CARILLON ÉLECTRIQUE.)

3° Dans le cas de l'électricité dynamique la décharge ne se produit généralement que lorsqu'on met au contact les deux pôles de la source électrique (pile ou machine). Lorsque le courant a un POTENTIEL suffisant, la décharge peut se faire à distance, comme dans le cas de l'électricité statique.

La décharge électrique, qu'elle soit due à l'électricité statique ou à l'électricité dynamique, peut produire les mêmes phénomènes, calorifiques, lumineux, chimiques, physiologiques, etc.

Décharge conductive. — Décharge continue d'électricité qui s'opère entre deux conducteurs sous l'influence d'une différence de potentiel qui demeure constante. La décharge conductive se distingue complètement, par ses caractères physiques, de la décharge disruptive. On peut citer comme décharge conductive les AIGRETTES lumineuses qui se manifestent sur les pointes des machines électro-statiques, le FEU SAINT-ÉLME et les AURORES boréales.

Décharge disruptive. — Nom donné à une décharge à la suite de laquelle on constate un abaissement brusque de la différence de potentiel qui existait sur les conducteurs entre lesquels elle s'est produite. Telles sont les étincelles fournies par les machines ÉLECTRO-STATIQUES, les ÉCLAIRS, etc.

DÉCLINAISON. — Angle formé par le MÉRIDIEN MAGNÉTIQUE d'un lieu avec le méridien astronomique. (V. AIGUILLE AIMANTÉE, BOUSSOLE et MAGNÉTISME TERRESTRE.)

DÉCLINOMÈTRE. — Appareil imaginé par Gauss pour mesurer la DÉCLINAISON absolue. (V. MAGNÉTOMÈTRE.)

DÉFLAGRATEUR. — Appareil destiné à utiliser la décharge disruptive d'une source d'électricité. Il trouve son emploi dans le sautage des mines, l'allumage des becs de gaz, etc.

DENSITÉ DE COURANT. — On emploie souvent cette expression pour désigner le nombre d'AMPÈRES qui traversent l'unité de surface (c'est-à-dire pratiquement 1 millimètre carré) de la section droite d'un conducteur.

DENSITÉ ÉLECTRIQUE. — On appelle ainsi le rapport $\frac{dq}{ds}$ de la quantité d'électricité dq répandue sur l'élément de surface ds d'un conducteur à cet élément de surface.

La densité électrique varie beaucoup sur les divers

points d'un conducteur, comme on le verra à l'article POTENTIEL. Elle tend à devenir infinie à l'extrémité des pointes. Plus la densité est grande, plus l'effort disruptif exercé sur l'isolant est considérable. C'est l'accroissement de densité en un point qui est la cause des décharges électriques.

DÉPÊCHE TÉLÉGRAPHIQUE. — Synonyme de TÉLÉGRAMME.

DÉPERDITION DE L'ÉLECTRICITÉ. — Propriété que possèdent les corps électrisés de perdre leur électricité au bout d'un certain temps, même lorsqu'ils sont isolés. La déperdition de l'électricité s'effectue suivant une loi découverte par Coulomb. (V. ÉLECTRICITÉ.)

DÉPERDITION MAGNÉTIQUE. — Diminution de magnétisme d'un AIMANT lorsqu'il a été sursaturé.

DÉPOLARISATION. — Action chimique ou mécanique servant à faire disparaître du RÔLE POSITIF d'une PILE la couche d'hydrogène produite par l'action de la pile et qui, par son peu de conductibilité, empêche le passage du courant (V. POLARISATION). La dépoliarisation d'une pile s'obtient de trois manières différentes :

- 1° En agitant le liquide par un courant d'air, ou en agitant l'électrode elle-même ;
- 2° En rendant rugueuse l'électrode positive par une couche de mousse de platine, ce qui empêche l'adhérence des bulles d'hydrogène ;
- 3° En absorbant l'hydrogène, au fur et à mesure de sa production, par des corps oxydants, tels que l'acide azotique, chromique, les sels de cuivre et de mercure, etc.

DÉPÔTS GALVANIQUES. — Un courant qui traverse un ÉLECTROLYTE formé d'un sel métallique en fusion aqueuse ou ignée détermine la décomposition d'un nombre d'équivalents proportionnel, pendant un temps quelconque, au nombre de COULOMBS qui ont traversé l'électrolyte pendant ce temps.

Généralement un sel se décompose en deux éléments : le métal et le radical acide auquel il est combiné ; le premier se porte à l'électrode négative, le second à l'électrode positive.

Prenons, par exemple, un équivalent de sulfate de cuivre : on peut le représenter par la formule



Le cuivre viendra recouvrir l'électrode négative ; quant au radical (SO^4) , qui ne peut exister en liberté, il décomposera un équivalent d'eau, lui prendra son hydrogène et laissera dégager son oxygène. Ce dernier, suivant les cas, tantôt oxydera l'électrode, tantôt se dégagera à l'état libre.

De même, le métal déposé à l'électrode négative est capable de décomposer l'eau ; il lui prendra son oxygène et mettra son hydrogène en liberté, à moins que les électrodes n'aient le pouvoir de condenser ce dernier gaz, ce qui arrive, par exemple, dans le cas des ACCUMULATEURS.

On trouvera à l'article ÉLECTROLYSE la théorie de ces phénomènes, et à l'article GALVANOPLASTIE, l'usage que l'on en a fait, ainsi que les précautions à prendre pour obtenir de bons dépôts.

Nous nous bornerons ici à dresser un tableau donnant : 1° le nombre de COULOMBS nécessaires pour

libérer 1 gramme des corps principaux; 2° le poids libéré par un AMPÈRE-HEURE, en grammes.

NOMS DES CORPS.	NOMBRE de coulombs nécessaires pour libérer 1 gramme.	POIDS LIBÉRÉS par un ampère-heure en grammes.
H.....	96293,00	0,03738
K.....	2467,50	1,45950
Na.....	4188,90	0,83042
Au.....	4473,50	2,44480
Ag.....	894,41	4,09500
Cu (sels cupriques).....	3658,60	1,17700
Cu (sels cupreux).....	1525,30	2,35500
Hg (sels mercuriques).....	963,99	3,73450
Hg (sels mercuraux).....	481,99	7,46900
Sn (sels stanniques).....	3370,00	1,16090
Sn (sels stanneux).....	1635,00	2,20180
Fe (sels ferriques).....	5166,40	0,69681
Fe (sels ferreux).....	3445,80	1,04480
Ni.....	3386,80	1,09530
Zn.....	2967,10	1,21330
Pb.....	933,26	3,85780

DÉRAILLEMENT d'un appareil imprimeur. — DÉRANGEMENT provenant du manque de synchronisme entre l'appareil transmetteur et l'appareil récepteur.

DÉRANGEMENT. — En télégraphie, on appelle dérangement toute altération dans la régularité des relations d'un poste télégraphique avec ses correspondants. Comme l'électricité ne se décide que par les effets qu'elle produit, c'est seulement d'après les perturbations qui se manifestent dans le fonctionnement des appareils que l'on peut chercher à découvrir la cause des dérangements, et à y remédier. Or, comme de toutes les indications que l'on peut recueillir dans un poste télégraphique d'un système quelconque les plus exactement et les plus facilement appréciables sont données par la BOUSSOLE ou GALVANOMÈTRE, il était naturel de s'en servir pour se guider dans les recherches; et c'est là en effet le principe des méthodes suivies depuis longtemps.

Malgré la diversité des installations dans un poste auquel une seule ligne aboutit, on peut toujours les considérer comme formant la série des communications représentées fig. 1 et 2.

On admet, pour fixer les idées, que les signaux, à la réception, sont produits par une ARMATURE mise en mouvement par le courant de la ligne, ce qui est le cas le plus général. Si l'installation comporte un NEZAIS, c'est à lui que s'applique la série des expériences à faire, puisque c'est lui qui reçoit le courant du poste correspondant.

Les dérangements se manifestent sous les formes les plus variées et souvent les moins prévues: les uns proviennent de l'état défectueux de la pile, du mauvais fonctionnement des pièces mécaniques qui entrent dans le mouvement des appareils, d'un contact mal établi, d'avaries causées par l'électricité atmo-

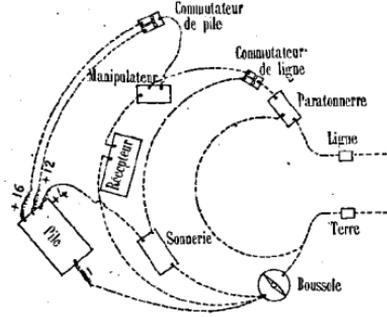


Fig. 1.

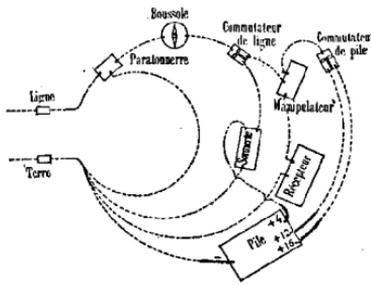


Fig. 2.

sphérique, ou d'une TRÈVE insuffisante; les autres proviennent d'une rupture du fil de ligne, d'un MÉLANGE ou contact de ce fil avec un fil voisin, ou d'une communication établie entre le fil et la terre, quel que soit d'ailleurs le mode de communication.

Lorsqu'on s'aperçoit qu'il y a un dérangement, on doit, avant tout, rechercher si ce dérangement n'existe pas dans le poste lui-même, ce qui arrive fréquemment; c'est seulement ensuite que l'on procède aux expériences sur la ligne.

Voici la marche à suivre pour déterminer la cause du dérangement et le point où il se trouve, ou, suivant un terme couramment employé, pour le localiser suivant une méthode indiquée en principe par Blavier, dans son *Traité de Télégraphie*.

1° Si l'on ne reçoit aucun signal du correspondant, on détachera le fil de ligne à l'entrée du poste et on le remplacera par un fil d'essai avec lequel on touchera le fil de pile. Il pourra se faire alors, (a) que l'appareil (récepteur ou sonnerie) fonctionne, ce qui indique que le dérangement est sur la ligne; (b) que l'appareil (récepteur ou sonnerie) ne fonctionne pas, c'est un indice que le dérangement est dans le poste. Dans ce dernier cas, il s'agit de déterminer dans quel appareil du poste ou dans quel point du circuit il se trouve. A cet effet on fixera l'extrémité dénudée du fil d'essai au bouton de pile du manipulateur et on touchera avec l'autre extrémité de ce même fil, successivement, chaque bouton ou borne de communication de la table, en partant de la borne d'entrée et en suivant

font le circuit jusqu'au récepteur. Le dérangement se trouve entre le dernier point touché sans faire fonctionner le récepteur et le point où l'on commence à le faire fonctionner.

Le dérangement peut aussi provenir d'un défaut de réglage des appareils du poste ou d'une mauvaise communication avec la terre; il est facile de s'en assurer.

3° Si l'on reçoit les signaux du correspondant qui appelle continuellement (parce que lui ne reçoit rien), on observera la boussole du poste :

(a) Si l'aiguille dévie dans un sens quand on reçoit et dans l'autre quand on cherche à transmettre, on est certain que le dérangement n'est pas dans le poste.

(b) Si au contraire la boussole ne dévie pas quand on met le manipulateur sur contact, et si, en transmettant en local, le récepteur (ou la sonnerie) fonctionne, c'est que le dérangement est dans le poste correspondant; dans le cas où ce récepteur (ou cette sonnerie) ne fonctionne pas, c'est que le dérangement est dans le manipulateur ou dans la pile du poste même.

3° Si l'on reçoit un contact permanent, on observera, comme dans le cas précédent, les mouvements de la boussole :

(a) Si elle indique une déviation constante, on détachera de la borne d'entrée le fil extérieur de ligne. Il peut alors se faire : ou que le contact disparaisse, ce qui est l'indice que le dérangement vient de la ligne; ou que le contact persiste, ce qui montre qu'il y a communication, dans le poste, du fil de pile avec un conducteur.

(b) Si elle ne dévie pas, le dérangement tient à une communication entre le fil de pile et le fil qui relie le manipulateur au récepteur ou à une avarie du manipulateur ou encore à un défaut de réglage du récepteur.

4° Enfin, si l'on reçoit des contacts intermittents, c'est l'indice d'un MÉLANGE sur la ligne.

On est toujours certain, en suivant la marche qui vient d'être indiquée, de trouver la cause de l'interruption, quand elle existe dans le poste. Mais, bien que toutes ces expériences soient très simples, on peut souvent les simplifier encore. Ainsi, en touchant avec un corps métallique les boutons de pile et de réception du manipulateur, on peut reconnaître que la pile ne donne pas de courant ou que le récepteur ne peut fonctionner; si un dérangement est attribué à une boussole ou à un paratonnerre, on remplace momentanément l'appareil par un simple fil conducteur reliant les deux parties correspondant à la direction essayée, et on examine si cette substitution fait disparaître le dérangement.

Dérangements dans les postes multiples. — Quand un poste comprend plusieurs appareils, auxquels aboutissent autant de fils de ligne distincts, la recherche des dérangements peut s'effectuer séparément pour chacun des circuits, comme s'il existait seul.

Cette recherche est d'ailleurs souvent simplifiée. Ainsi, lorsque le fil de terre, qui est ordinairement le même pour tous les appareils, est reconnu bon pour l'un d'eux, on n'a pas à s'en préoccuper pour les autres, au moins dans la partie commune. Il en est de même de la pile. On peut d'ailleurs, en cas de dérangement sur une des lignes, changer les communications à l'entrée du bureau, afin de mettre cette ligne en relation avec un autre appareil recevant bien du poste correspondant. Si la transmission devient bonne, on en conclut naturellement que le dérangement

existe dans le poste. Dans le cas contraire, il est extérieur.

Quand deux appareils sont en TRANSLATION et que la transmission paraît interrompue, ce que l'on reconnaît aisément à ce que l'un des deux postes extrêmes ne répond pas aux attaques de l'autre, on recherche le dérangement en suivant la méthode générale, mais en observant que le manipulateur pour chacune des lignes est le levier de l'appareil qui envoie le courant sur cette ligne.

Dans les postes multiples, il peut encore se produire des dérangements causés par une communication, ou un mélange entre les conducteurs différents. On s'en aperçoit aisément, parce que le courant envoyé dans une direction revient par un autre fil, et fait marcher un des autres appareils de réception du poste. On détache un des fils à l'entrée du bureau et on l'isole; si le mélange persiste, on suit le conducteur, en détachant successivement le fil à tous les boutons des commutateurs, paratonnerres, etc. jusqu'à ce que le mélange cesse.

Quand l'isolement de l'un des fils à l'entrée du bureau fait cesser le dérangement, le mélange ne peut être attribué qu'à la ligne ou à une rupture du fil de terre. Cette rupture ne peut avoir lieu si, en enlevant les communications avec toutes les lignes qui aboutissent au poste, sauf une, on peut transmettre ou recevoir le courant.

Nous indiquons plus loin la méthode de recherche du point où se trouve un mélange, au moyen du pont de Wheatstone.

Dérangements dans les appareils du poste. — Fil. — Les dérangements dans les piles sont assez fréquents.

Le plus souvent, il suffit d'une inspection de la pile, surtout s'il s'agit d'éléments au sulfate de cuivre, pour voir ce qu'il y a à faire; mais il n'en est pas ainsi quand le sel employé peut être aisément falsifié, comme le sulfate de mercure; ou bien quand la pile comporte des acides qui peuvent être plus ou moins énergiques.

L'affaiblissement du courant, lorsque les communications sont bonnes, ne peut tenir qu'à un mauvais état d'un certain nombre de couples. On divise la pile en groupes d'un même nombre d'éléments, et on cherche l'intensité que donne chacun d'eux avec un même circuit extérieur. Celui des groupes pour lequel l'intensité est la plus faible contient les éléments défectueux. Si tous les groupes donnent la même intensité, le défaut tient à la pile entière, qui doit être changée.

Le nettoyage des diverses parties des couples rend souvent presque toute son intensité à une pile affaiblie. Il arrive souvent qu'une vis ou un boulon desserré est la seule cause du dérangement. Enfin l'attention doit surtout se porter sur le parfait état des conducteurs qui relient les couples entre eux, et qu'il faut remplacer dès qu'ils se rouillent ou s'oxydent.

Boussoles. — Deux cas peuvent se présenter : 1° l'aiguille est désaimantée; 2° le courant ne passe pas dans l'appareil. Dans l'un et l'autre cas, on commence par rechercher si le courant passe; pour cela, on enlève la boussole de sa place normale; à l'une de ses pattes on attache l'un des fils de pile, et l'on pose sur la langue la patte correspondante de la boussole et l'autre fil de pile. Si l'on éprouve une sensation de pincement caractéristique, c'est que le courant passe dans la boussole; l'immobilité de l'aiguille tient alors à ce qu'elle est désaimantée; on la réaimante et l'on remet la boussole en place. Si la langue ne subit

aucune sensation électrique, c'est que le circuit est rompu; il est alors nécessaire de remplacer la boussole, parce qu'il faut la démonter pour voir où se trouve la rupture du fil. Dans les boussoles à deux circuits, il peut encore se produire des mélanges. D'ailleurs, une méthode extrêmement simple, qui rend de fréquents services, consiste à remplacer la boussole à laquelle on attribue un dérangement par un simple fil conducteur reliant les deux pattes correspondant à la direction essayée, et à examiner si cette substitution fait disparaître le dérangement.

Paratonnerres. — (a) *Paratonnerres à fil tenu.* — Si la boussole ne dévie pas quand on attaque le poste correspondant, on détache le tube et on s'assure, en l'intercalant en local, soit entre la pile et le récepteur, soit dans un circuit formé de la pile, du tube et de la boussole préalablement vérifiée, que le courant passe. Si la boussole dévie fortement quand on attaque le poste correspondant, on examinera si la manette du paratonnerre est dans sa position normale, si les peignes ne se touchent pas, ou si un corps métallique ne s'est pas interposé entre eux.

(b) *Paratonnerres à papier.* — Si la boussole ne dévie pas quand on attaque le poste correspondant, on vérifie si les boutons qui maintiennent le paratonnerre sont bien serrés; puis, au moyen d'un fil volant, on localisera le dérangement en suivant le circuit correspondant à la direction essayée. Si la boussole dévie fortement quand on attaque, on s'assurera que les bouchons sont dans leur position normale, et que les dents des peignes ne se touchent pas, puis on examinera si le papier est suffisamment grand, sans trous, et si les plaques ne sont pas altérées par la foudre, qui y forme parfois de petits mamelons. Il sera souvent aussi utile que simple d'enlever le paratonnerre supposé défectueux et de relier, par un simple fil conducteur, les deux bornes correspondant à la direction vérifiée: on verra par là si le dérangement subsiste.

Sonneries. — (a) *Sonneries à rouage.* — Il faut voir si, après avoir été remonté, l'appareil déclenche bien sous l'action du courant d'un petit nombre de couples, 6 par exemple. S'il ne déclenche pas, on s'assurera de la propreté intérieure de l'appareil; du bon fonctionnement du rouage en le faisant déclencher avec le doigt; du degré convenable de tension des divers ressorts de rappel; du réglage des vis de butée qui limitent la course de l'armature; de l'écartement normal entre l'armature et l'électro-aimant.

(b) *Sonneries à relais.* — On vérifiera, avec une batterie de 6 éléments, si les voyants déclenchent bien et vont à bout de course. On examinera ensuite la tresseuse (que l'on réglera au besoin) et les contacts qui font partie du circuit.

Récepteurs. — (a) *Récepteurs à cadran.* — Le fil des bobines peut être rompu. Les ruptures, parfois visibles, parfois invisibles, sont le plus souvent causées par la rouille. Quant aux dérangements de réglage, si la clef placée en haut et à droite de la boîte ne suffit pas pour les faire disparaître, on y remédie au moyen de la vis qui tient la culasse de l'électro-aimant. Les dérangements mécaniques sont très variés; ils exigent en général le remplacement de l'appareil.

(b) *Récepteurs Morse.* — Les seules avaries qui se produisent dans ces récepteurs consistent dans la rupture du fil des bobines. On remédie aux dérangements de réglage au moyen de la vis qui commande le ressort antagoniste à l'électro-aimant; si ce procédé ne suffit pas on modifie convenablement

la position des vis butoirs ou de celle qui presse le COUTEAU.

Dans les autres systèmes télégraphiques, les dérangements sont extrêmement variés, et il faut des agents spéciaux, très exercés, pour les relever.

Manipulateurs. — (a) *Manipulateurs à cadran.* — Une des causes de dérangement les plus communes dans ces appareils est l'absence ou l'insuffisance des contacts que doit assurer la BOUILLE avec les vis butoirs entre lesquelles elle oscille. Il peut arriver aussi que ces vis, étant trop rapprochées l'une de l'autre, établissent un circuit constamment fermé. On remédie à ces deux défauts en serrant ou desserrant les vis, selon le cas. Certains de ces manipulateurs sont munis de commutateurs dont les SORTRES DE SUITE et les manettes sont fixées sur le socle même; il peut se produire un isolement dans la manette; il arrive encore que celle-ci ne frotte pas suffisamment sur les gouttes de suif.

(b) *Manipulateurs Morse.* — On vérifiera si les enclumes correspondant aux extrémités du levier ne sont pas embarrassées par des corps étrangers; si l'axe transversal oscille régulièrement sur ses pivots et si la vis de réglage ne doit pas être desserrée, pour éviter un contact permanent; si le petit ressort qui relie le levier (ou clef) au support métallique est en bon état.

Les manipulateurs des autres systèmes sont sujets à de nombreuses causes de dérangement dont la recherche exige beaucoup de sagacité. Nous ne pouvons noter que l'attention à apporter à ne pas inverser les pôles de la pile dans le cas où on emploie les courants alternatifs.

Commutateurs. — Les commutateurs à bouchons ou à chevilles sont sujets à deux causes de dérangements: 1° isolements causés par l'agrandissement des trous, ou parce que les bouchons se resserrent, ou enfin parce que des corps isolants, comme l'encre, salissent les trous; 2° dérivations produites par l'interposition d'un corps conducteur quelconque entre les divers blocs du commutateur; ces corps interposés consistent quelquefois en un dépôt de poussière métallique formé au fond des trous par l'usure des bouchons ou des blocs.

Dérangements sur les lignes. — Recherche des dérangements. — Les dérangements des lignes proviennent soit d'une interruption ou d'un isolement, soit d'une perte à la terre, soit enfin d'un mélange.

L'isolement peut être total ou partiel. Dans le premier cas, il est causé par la rupture du fil de ligne sans communication de ce dernier avec la terre ou avec un autre fil. Dans le second cas, il provient d'une mauvaise jonction ou de l'état défectueux de la ligne.

Pour localiser le dérangement, on essaye ordinairement toutes les jonctions au moyen de deux crochets conducteurs d'une pile portative et d'un galvanomètre. Mais on peut aussi reconnaître la perte à la terre sans sortir du poste; cette perte peut être totale ou partielle.

Les appareils à employer pour faire ces recherches sont: un PONT DE WHEATSTONE, une DITTE DE RÉSISTANCES et un GALVANOMÈTRE très sensible. Ces trois appareils peuvent être disposés dans une boîte portative, ainsi que l'a fait le service télégraphique des chemins de fer de l'Est.

1° Mesure de la résistance d'un fil de ligne de longueur connue L.

On dispose les choses comme le montre la fig. 3. L'une des extrémités du fil L est reliée à la borne *b* du pont de Wheatstone; l'autre extrémité de ce fil, B, est mise à la terre.

On intercale la boîte de résistances R, dans le

côté *dc* du pont, on fait enfin communiquer la borne *c* à la terre et la borne *a* avec l'un des pôles de la pile P, l'autre pôle étant mis en relation avec la terre.

Le courant de la pile P se divise en deux parties, qui s'écoulent chacune à la terre, l'une en B par le

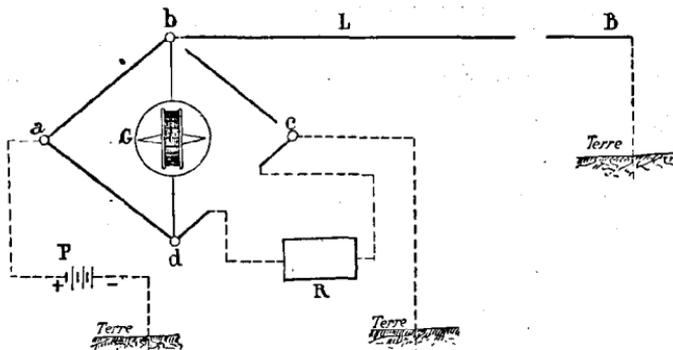


Fig. 3.

côté *ab* du pont et le fil de ligne L, l'autre à la station même par les branches *ad* et *dc*, après avoir traversé la boîte de résistances R. Il est donc facile de modifier la résistance de cette boîte de manière à équilibrer l'aiguille du galvanomètre G, et de trouver ainsi la

valeur en ohms de la résistance opposée au passage du courant par le fil de ligne L. En divisant ce nombre d'ohms par la longueur en mètres du fil L, on connaît sa CONDUCTIBILITÉ. Cette expérience implique, pour qu'elle soit exacte, que les terres soient très bonnes,

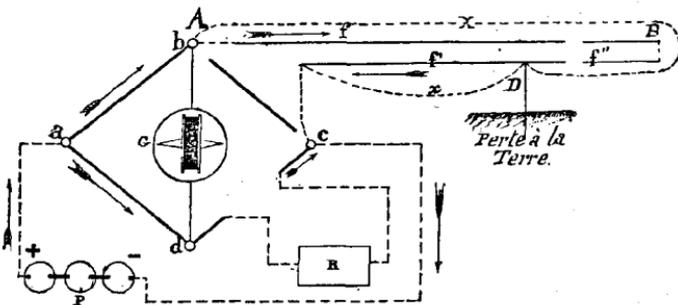


Fig. 4.

c'est-à-dire que la résistance que ces terres opposent au passage du courant puisse être négligée.

2° Détermination du point de la ligne où se trouve une dérivation ou une perte à la terre.

Il faut considérer deux cas :

1^{er} cas. La ligne possède deux conducteurs, ce qui est le cas habituel.

Soit D le point de l'une de ces lignes où se trouve la dérivation ou la perte à la terre (fig. 4).

Dans le poste où se fait l'essai, on dispose les choses comme le montre la figure. Dans le poste suivant on réunit métalliquement les deux fils de ligne, en B. Puis on mesure, en opérant comme il a été expliqué dans le cas précédent :

1° La résistance H de la boucle formée par les deux

fil de ligne. En appelant X la résistance du fil f et de la portion f'' du fil sur lequel se trouve le dérangement, et x la résistance de la seconde portion f' de ce fil, on aura :

$$R = X + x,$$

d'où on tirera :

$$X = R - x.$$

2° La résistance R' , qu'il faut ajouter à la résistance x de la fraction f' du fil où se trouve le dérangement, pour la rendre égale à la résistance X de la partie la plus longue $f + f''$ de la boucle totale.

Pour calculer cette résistance R' , on dispose l'ap-

pareil comme le montre la *fig. 5*. Le pôle négatif de la pile, au lieu d'être relié à la borne c du pont, comme dans la première expérience, est mis à la terre.

Le courant de la pile se partagera alors en deux portions ; l'une s'écoulera par la bande ab dans le fil de ligne f , puis dans le fil f'' et reviendra par la terre au pôle négatif de la pile; l'autre passera par la branche ad du pont, traversera la boîte de résistances R , et s'écoulera dans la portion de fil f' , puis à la terre en D et reviendra enfin, par la terre, à la pile.

En modifiant convenablement les résistances de la boîte R , on fera revenir l'aiguille du galvanomètre G au zéro et on connaîtra ainsi la résistance R' qu'il

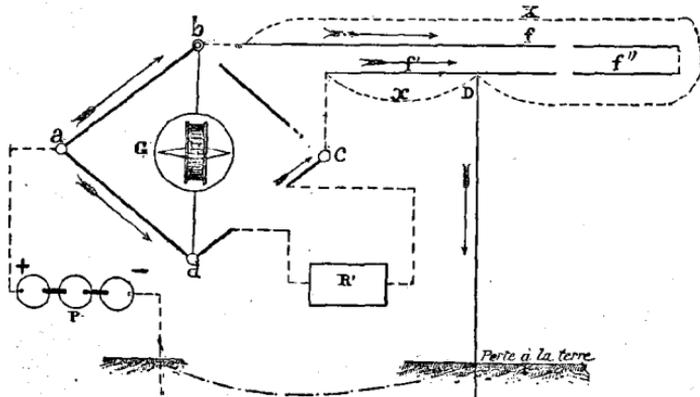


Fig. 5.

faut ajouter à la résistance x du fil f' pour équilibrer la résistance X des fils f et f'' .

On aura ainsi :

$$R' + w = X.$$

Cette dernière formule, combinée avec la précédente :

$$X = R - x$$

donne :

$$x = \frac{R - R'}{r}.$$

Connaissant x en ohms, il est facile d'évaluer en mètres la longueur du fil f' ; il suffit, en effet, de diviser cette résistance par 40 (nombre qui représente à peu de chose près la résistance normale d'un fil télégraphique de fer de 0^m,008 de diamètre), ou par le nombre qui représente la résistance kilométrique du fil correspondant au diamètre de ce fil. (On sait que les résistances sont en raison inverse des carrés des diamètres.)

2° cas. La ligne se compose d'un seul fil.

Soit toujours D le point où se trouve le dérangement, et A et B les extrémités du fil (*fig. 6*).

On se placera en A, on isolera le fil en B et on mesurera la résistance R de la partie AD du fil, augmentée de la résistance r résultant de la dérivation ou de la perte du courant en D.

On aura ainsi :

$$R_1 = R + r.$$

On recommencera la même expérience en se plaçant en B; on évaluera ainsi la résistance R' de la

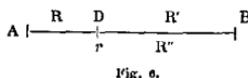


Fig. 6.

partie BD du fil, augmentée de la résistance r en D. Et on aura :

$$R_2 = R' + r.$$

On connaît, d'ailleurs, par le calcul, la résistance normale R'' de la ligne AB, puisque l'on sait que cette résistance est égale au produit de la longueur kilométrique AB par la résistance kilométrique du fil, dont on connaît la nature et le diamètre.

Cette résistance normale est :

$$R'' = R + R'.$$

De ces trois formules on déduit :

$$R = \frac{R_1 - R_2 + R''}{2},$$

et par suite :

$$R' = \frac{R_2 - R_1 + R''}{2}.$$

Connaissant R ou R', en divisant le nombre d'ohms

qui les représente par la résistance kilométrique normale du fil, on aura la *distance approximative* du point D à la station A ou à la station B.

3^e Détermination du point de la ligne où se trouve un mélange entre deux fils.

Soit M le point de la ligne où se trouve le mélange (fig. 7). On se placera à la station A et on re-

liera les deux extrémités A et B des deux fils de ligne au pont, ainsi que le représente la fig.; on fera isoler les deux fils en question au delà du mélange, c'est-à-dire à la station suivante C. On mesurera la résistance de la boucle AMB, ainsi formée; on prendra la moitié de la résistance calculée et on en déduira la distance kilométrique du point M à la station A, où s'effectue la mesure.

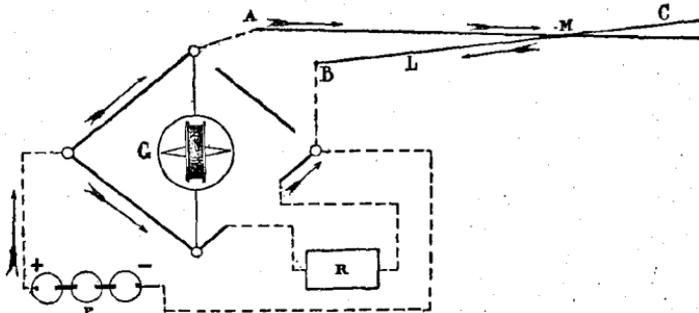


Fig. 7.

Dérangements sur les lignes sous-marines. (Extrait de Blavier, *Nouveau Traité de télégraphie électrique.*) — Les expériences à faire ne diffèrent de celles qu'on fait sur les lignes aériennes que par la précision avec laquelle elles doivent être conduites, et qu'elles comportent d'ailleurs, car le conducteur se trouve toujours dans les mêmes conditions de température et d'isolement.

La donnée la plus importante à avoir est la résistance exacte qui correspond à l'unité de longueur du conducteur, évaluée en unités bien définies, de façon qu'on puisse connaître, d'après la résistance électrique opposée par le fil, à un moment donné, sa longueur réelle. Cette donnée est connue par les expériences faites pendant la construction du câble et dont les résultats doivent être conservés avec soin. A défaut de ces expériences, on est obligé, pour obtenir la mesure de la conductibilité, de faire des expériences rigoureuses sur quelques kilomètres de câble, quand cela est possible.

Les accidents auxquels est sujet un câble sous-marin peuvent se résumer ainsi :

1^o **Rupture complète**, produite par une ancre de navire, par le frottement contre les galets, etc. Cette rupture a presque toujours lieu aux abords des côtes et par de faibles profondeurs. Elle pourrait cependant se produire à de grandes profondeurs, par suite de la destruction partielle de la gaine protectrice en fer, qui s'oxyde assez rapidement; car, si le câble est soumis à une certaine tension, le conducteur et la matrice isolante n'offrent pas une résistance mécanique suffisante pour maintenir la continuité.

2^o **Rupture du fil conducteur** à l'intérieur de l'enveloppe isolante, causée par une forte tension, un joint mal fait, un défaut du fil. Ce cas est rare si le câble a été fabriqué et posé avec soin.

3^o **Fil conducteur dénudé** sur une étendue plus ou moins grande et communiquant avec la gaine protec-

trice en fer ou avec l'eau de la mer. Cet accident peut provenir de fissures à la gutta-percha ou d'une avarie causée par le frottement contre les rochers, par un choc, etc. Dans le premier cas, la résistance au passage est, en général, assez grande, et souvent n'empêche pas la transmission; dans le second, l'interruption peut être complète.

La première opération à faire consiste toujours à envoyer le courant à l'une des extrémités de la ligne, l'autre extrémité étant en communication avec la terre, et à lui faire traverser une boussole à chaque station.

S'il n'y a pas de dérangement, la déviation doit être égale à celle qu'on obtient ordinairement avec les mêmes instruments et le même nombre d'éléments.

Dans le cas où l'on observerait à l'extrémité de la ligne un courant très affaibli, le câble ne pourrait être rompu complètement. La diminution d'intensité peut tenir soit à une augmentation dans la résistance du fil, soit à ce que le conducteur communique à la terre en quelque point.

On reconnaît aisément à laquelle des deux causes le dérangement doit être attribué d'après l'intensité du courant près de la pile. Si cette intensité est elle-même affaiblie, ou si la résistance totale du conducteur paraît plus grande, il y a un défaut de continuité ou de conductibilité du conducteur. C'est le cas le plus rare, et il n'empêche pas ordinairement la transmission, car il suffit d'un courant infiniment faible pour faire fonctionner les appareils télégraphiques des lignes sous-marines.

Mais quand l'intensité du courant, diminuant à l'extrémité de la ligne, augmente ou même ne paraît pas modifiée auprès de la pile, il existe une communication avec la terre en un ou plusieurs points intermédiaires.

On peut d'ailleurs s'en assurer plus directement en faisant isoler le fil à l'extrémité et en envoyant le courant. Si on observe une déviation plus grande

que celle qui correspond aux pertes normales par la matière isolante, l'électricité doit passer par les fissures de l'enveloppe, et il y a intérêt à réparer le câble le plus promptement possible, car le contact du conducteur avec l'eau de la mer entraîne, plus ou moins rapidement, son oxydation et par suite sa destruction.

On trouve le point défectueux en déterminant exactement à chacun des postes la résistance qui est offerte au courant quand l'extrémité opposée du conducteur est isolée.

Il faut observer que les effets diffèrent suivant qu'on emploie pour cette mesure le courant négatif ou le courant positif. On peut faire les expériences successivement avec les deux courants; mais, en général, celles qui suivent une courte émission de courant négatif donnent un résultat plus certain, parce que le fluide négatif tend à faire disparaître l'oxyde qui se forme dans les fissures, et produit un isolement factice.

Supposons maintenant qu'en envoyant le courant à l'un des bouts de la ligne il n'arrive à l'extrémité qu'un courant nul ou très faible, et pouvant être attribué aux courants d'origines diverses qui se développent spontanément dans les fils; la communication est alors interrompue complètement, et le câble hors de service. On observe le courant près de la pile. Si l'intensité est relativement assez grande, on en conclut que le fil communique avec la terre, soit qu'il ait été dénudé sur une étendue plus ou moins grande, soit que, par suite d'une pression extérieure, la gaine protectrice ait percé la matière isolante et touche le fil, soit enfin que, le câble rompu, l'extrémité du conducteur se trouve en communication avec l'eau de la mer.

Dans ce dernier cas, la communication avec le sol a lieu sur une très petite étendue, aussi la résistance est-elle considérable. En outre, elle augmente rapidement quand on envoie le courant positif, par suite de l'oxydation du métal, et diminue, au contraire, jusqu'à une certaine limite, par l'émission prolongée d'un courant négatif. En mesurant la résistance réelle au moyen du RHÉOSTAT et l'évaluant en longueur de fil de même nature que le conducteur, on a donc non seulement la résistance du fil, mais aussi celle de la communication avec la terre. Cette résistance, même quand elle a été diminuée par l'envoi d'un courant négatif, est toujours assez grande. On peut, du reste, l'apprécier approximativement en prenant la résistance d'un bout de câble de longueur connue et dont on fait plonger l'extrémité dans l'eau. Il faut déduire cette longueur de la résistance trouvée pour avoir la distance du point défectueux.

Quand la déviation diminue très lentement sous l'influence d'un courant positif, l'étendue du contact avec l'eau de la mer doit être assez grande, la résistance de la communication avec la terre est beaucoup plus faible, et la mesure des résistances peut donner le lieu du dérangement à 1 ou 2 kilomètres près, pourvu que sa distance du lieu où l'on fait l'expérience ne soit pas trop grande.

Ces essais répétés aux deux postes fournissent deux

indications: si elles donnent des points très différents, on peut en conclure qu'il existe sur la ligne plusieurs défauts.

Un autre renseignement est fourni par le courant de décharge ou de retour. Quand la décharge suit immédiatement la charge, elle est à peu près proportionnelle à la longueur de la ligne. Plus le courant de retour est intense, plus la distance du point défectueux est grande.

Lorsqu'en envoyant le courant par l'une des extrémités du conducteur il n'en arrive aucune trace à l'autre bout, et que l'intensité près de la pile paraît très faible, le fil conducteur doit se trouver isolé en un point quelconque, et le courant obtenu tient uniquement aux pertes par la matière isolante. Dans ce cas, l'intensité varie peu avec le sens du courant qu'on envoie.

Si l'on cherche avec l'ÉLECTROMÈTRE les temps qu'emploie le conducteur à perdre la moitié de son électricité, on doit trouver, si le conducteur est parfaitement isolé, le même temps que sur un échantillon de faible longueur du même câble. S'il existe une communication avec la terre, ce temps doit être plus court.

C'est par l'intensité du courant de charge et de décharge qu'on peut avoir la distance du point isolé. Quand ce point n'est pas trop éloigné, le courant est, en effet, proportionnel à la longueur de la ligne, et peut être comparé à celui qu'on obtient sur une longueur connue d'un câble de même nature, et qui a dû être déterminé dans les expériences faites pendant la construction. Si l'isolement est très éloigné, on peut avoir une indication approximative de la distance à laquelle il se trouve en observant l'intensité du courant dû aux pertes, avec un galvanomètre très sensible, et en la comparant avec celle du courant qu'on obtenait avec la même pile sur la ligne entière, isolée à son extrémité.

Il peut exister plusieurs points défectueux sur un câble; les expériences ne font reconnaître que la distance de celui qui est le plus rapproché du poste où se fait l'essai. C'est, du reste, le plus important à connaître; car, en général, c'est celui qui a le plus de chances de se trouver par de faibles profondeurs, où le câble puisse être réparé. Le câble est relevé au moyen d'engins spéciaux. Quand on arrive aux environs du point que les expériences ont fait reconnaître comme défectueux, on le coupe et l'on fait de nouveaux essais qui donnent une nouvelle indication; on continue le relèvement, et après plusieurs coupures, on arrive à trouver la cause du dérangement. On enlève la partie qui est en mauvais état et l'on fait de nouveaux essais pour reconnaître s'il existe d'autres défauts plus éloignés, qu'on trouve et qu'on répare de la même manière, quand cela est possible.

Statistique des dérangements. — Le tableau ci-après, extrait du *Journal télégraphique de Berne*, donne la longueur kilométrique des lignes et des fils télégraphiques existant en 1885, ainsi que le nombre et la nature des dérangements qui se sont produits sur ces lignes et sur ces fils dans le courant de cette même année.

KILOMÉTRIQUE			
DES FILS.			
	CHERMINES DE FER.	ROUTES.	TOTAL.
0	179.038,500	79.570,880	258.609,380
—	3.120,—	11.885,200	15.005,200
—	25.876,—	2.197,—	28.073,—
53	1.052,222	4.037,779	5.089,999
32	309,020	2.546,205	2.855,225
—	2.965,—	6.905,—	9.870,—
—	5.540,—	2.930,—	8.470,—
14	21.903,852	21.305,356	43.301,208
114	176.543,919	64.358,543	240.902,462
903	6.991,521	10.040,363	17.031,884
—	—	6.293,—	6.293,—
109	55.079,600	9.196,631	64.276,231
—	98.605,—	32.803,—	131.408,—
219	1.589,790	6.155,780	7.745,570
—	47.182,—	34.109,—	81.291,—
—	2.332,—	22.128,—	24.460,—
—	487,600	226,600	714,—
—	2.530,— ⁽¹⁾	13.640,—	16.170,—
600 ⁽²⁾	13.541,—	3.127,600	16.668,600 ⁽²⁾
968	5.068,687	4.403,313	9.564,300
600	52.429,900	142.131,300	194.561,200
110	488,—	3.477,190	3.965,190
—	10.771,—	10.059,—	20.830,—
400	9.836,100	6.930,700	16.767,400

3 kilomètres.

ÉTATS.	POTEAUX ROMPUS ou mis hors de service.			RUPTURE DE FILS		
	Chemins de fer.	Routes.	Total.	Chemins de fer.	Routes.	Total.
	Allemagne.	1.015	927	1.942	680	737	1.417
Autriche (3).	—	—	—	—	—	—
Belgique.	1.736	55	1.791	1.327	114	1.441
Bosnie-Herzégovine. . .	—	—	—	—	—	—
Cochinchine et Cambodge	235	—	235	—	93	93
Espagne.	295	105	400	195	137	332
France { Continent et Cors. . .	173	1.019	1.192	259	387	646
{ Algérie et Tunisie. . .	28	278	306	20	48	68
Hongrie.	74	65	139	117	191	308
Indes britanniques . . .	3	11	14	23	68	91
Indes néerlandaises. . .	95	6.049	6.144	—	1	1
Italie.	573	955	1.528	469	280	749
Japon.	—	85	85	—	113	113
Luxembourg.	7	—	7	9	—	9
Pays-Bas.	3.891	1.356	5.247	74	48	122
Roumanie	61	50	111	180	122	302
Russie.	172	922	1.094	549	2.096	2.645
Serbie.	5	29	34	55	178	233
Suède.	38	612	650	53	264	317
Suisse.	—	—	71	—	—	—

(1) Y compris 112 ruptures par la tempête. — (2) Dérangement. Le nombre d'heures des dérangements est la suivante : dérivations, 10.105; mètres de 25.769 kilom. de lignes et de 99.519 kilom. de fils, d'où il résulte que les dérangements des lignes de l'État. Les dérangements des lignes de l'État.

DÉRIVATEUR ou Gradateur. — Nom donné aux appareils employés par M. Van Rysselberghe, pour rendre inaudibles au téléphone les courants télégraphiques dans son système de TÉLÉPHONE à grande distance sur les lignes télégraphiques aériennes.

DÉRIVATION. — Ce mot désigne le mode suivant

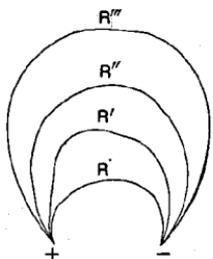


FIG. 1.

Ce mode de distribution est souvent employé en électricité. Ainsi le schéma ci-dessous (fig. 2) représente

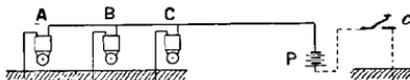


FIG. 2.

le montage en dérivation de trois sonneries ABC actionnées par une pile P., le retour se faisant dans le cas considéré par la terre, et le COMMUTATEUR étant en C.

DÉSAIMANTATION. — Action de DÉSAIMANTER.

DÉSAIMANTER. — Supprimer le magnétisme d'un AIMANT quelconque, soit par un traitement mécanique ou physique, soit par une influence électrique ou magnétique opposée.

DÉSAMORÇAGE. — Nom donné à un phénomène qui se manifeste quelquefois dans les MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES et qui consiste dans la cessation brusque du courant produit. Il est facile de se rendre compte de sa cause.

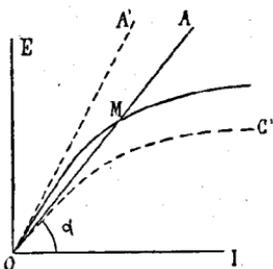
Considérons, en effet, la CARACTÉRISTIQUE OC d'une machine dynamo. Supposons qu'elle alimente un circuit de RÉSISTANCE totale R représentée par la droite OA et telle que $R = \tan \alpha$.

Une variation accidentelle de vitesse peut transformer la courbe OC en une courbe OC'. Et alors on voit que la machine ne peut plus développer aucun courant.

Il en serait de même si, la vitesse de rotation demeurant constante, la résistance augmentait accidentellement et devait être représentée par la droite OA'.

DÉRIVATEUR — DIAGNOMÈTRE

On constate d'ailleurs qu'une machine ne se désamorce que lorsque la résistance totale de son circuit



doit être représentée par une droite très voisine de la tangente à l'origine de sa caractéristique.

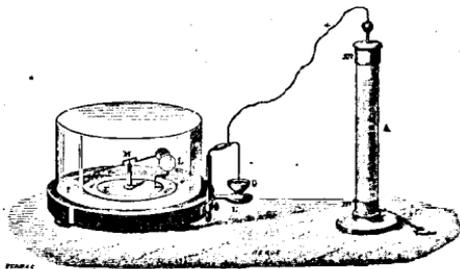
DÉSENGAGEUR ÉLECTRIQUE ou Electric slot de Tyer et Farmer (slot, mot angl., conlisse électrique). — Appareil destiné à empêcher électriquement la manœuvre intempestive des disques et signaux placés à l'entrée d'une section de BLOCK-SYSTEM ou des barrières des passages à niveau sur une voie ferrée.

DÉTERMINANTE. — M. Cabanellas a proposé, en 1881, cette dénomination pour caractériser l'INTENSITÉ de courant la plus forte que puisse supporter une machine dynamo-électrique d'une façon constante sans subir d'échauffement.

Il est évident qu'il y a intérêt, dans les problèmes relatifs à l'ACCUMULEMENT DES MACHINES, à connaître cette valeur limite, afin d'arriver à produire un débit déterminé avec le moindre matériel possible, tout en restant dans les meilleures conditions de fonctionnement.

DÉVIATION d'une aiguille aimantée. — Déplacement angulaire que subit une aiguille aimantée sous l'action d'un courant, d'un autre aimant, d'une masse de fer doux, etc. (V. LOIS DES COURANTS.)

DIAGNOMÈTRE. — Instrument imaginé par Rou-



Diagonètre Rousseau. (Ducretet.)

seu dans le but de contrôler la pureté des huiles d'olive, en se basant sur ce fait que la propagation

de l'électricité, qui est extrêmement lente dans certains liquides, peut être considérablement modifiée par l'addition d'une faible quantité d'un liquide étranger. Il consiste en une aiguille aimantée très légère, mobile autour d'un axe vertical et munie à l'une de ses extrémités d'un petit disque. En face de ce petit disque s'en trouve un autre qui est fixe et relié métalliquement avec le pivot de l'aiguille, dont l'extrémité libre se meut devant une graduation. L'aiguille étant à l'état neutre, on la fait communiquer avec le pôle d'une pile dont l'autre pôle est en relation avec la terre, et l'on observe sa déviation; on ramène l'aiguille au zéro et on la remet en communication avec la pile, mais en interposant entre le pôle de cette pile et l'aiguille le liquide à étudier. On note le temps que l'aiguille met à atteindre la déviation maximum.

M. Palmieri emploie, pour reconnaître la falsification des huiles, un électromètre bifilaire de son invention dont les indications sont en rapport avec le degré de conductibilité des huiles; mais il se sert, pour faire cette expérience, de l'électricité statique.

DIAMAGNÉTIQUE (Corps). — On appelle corps ou substances diamagnétiques ceux ou celles qui sont repoussés par l'aimant. Le type des corps diamagnétiques est le bismuth qui est repoussé avec une force considérable par un aimant puissant.

Voici la liste des substances que Faraday a reconnues être diamagnétiques :

Cristal de roche; sulfates de chaux, de baryte, de soude, de potasse, de magnésie; alun; chlorhydrate d'ammoniaque; chlorures de plomb, de sodium; azotates de potasse, de plomb; carbonate de soude; spath d'Islande; acétate de plomb; tartrate de potasse et d'antimoine; tartrate de potasse et de soude; acide tartrique; acide citrique; huile d'olive; térébenthine; jais; caoutchouc; sucre; amidon; gomme arabique; bois; ivoire; eau; alcool; éther; acide nitrique; acide sulfurique; acide chlorhydrique; solutions de sels alcalins et terreux; verre; litharge; acide arsénieux; iode; phosphore; soufre; résine; spermaceti; calcaire; quinine; acide margarique; gomme laque; cire à cacheter; mouton sec; bœuf frais; bœuf sec; sang desséché; cuir; pomme; pain. — Et parmi les métaux : l'antimoine; le bismuth; le cadmium; le cuivre; l'or; le plomb; le mercure; l'argent; l'étain; le zinc. D'expériences ultérieures Faraday a déduit la liste suivante des métaux magnétiques et diamagnétiques :

Magnétiques.	Diamagnétiques.
Fer.	Bismuth.
Nickel.	Antimoine.
Cobalt.	Zinc.
Manganèse.	Cadmium.
Chrome.	Sodium.
Cérum.	Mercure.
Titane.	Plomb.
Palladium.	Argent.
Platine.	Cuivre.
Osmium.	Or.
O	Arsenic.
	Urane.
	Rhodium.
	Iridium.
	Tungstène.
	O

Les métaux les plus voisins du point neutre O sont les métaux paramagnétiques ou diamagnétiques qui exercent le moins d'activité. Depuis, MM. Plücker, Matteucci et Quet ont découvert que les flammes, la vapeur d'eau, la vapeur d'alcool, l'air chaud, l'hydrogène et le gaz d'éclairage sont aussi diamagnétiques.

DIAMAGNÉTISME. — Partie de la physique qui traite de l'ensemble des phénomènes que présentent

les corps diamagnétiques. — Se dit aussi de la propriété que possèdent certains corps d'être repoussés par les aimants.

La propriété dont jouit l'aimant d'attirer le fer a été, comme on sait, appelée magnétisme. Un certain nombre de substances sont, comme le fer, susceptibles d'être attirées par les aimants ordinaires, et pour cette raison on les nomme *substances magnétiques*. A mesure que se perfectionnèrent les moyens d'observation, le nombre des corps magnétiques augmenta, et l'on en était venu à présumer qu'aucun corps ne resterait insensible à l'attraction de l'aimant, pourvu qu'elle fût manifestée par des appareils assez énergiques, lorsque, en 1778, Brugmans découvrit un phénomène entièrement contraire à cette supposition : le bismuth, au lieu d'être attiré, est repoussé par les aimants. Le fait passa d'abord presque inaperçu; mais peu à peu d'autres corps vinrent se placer à côté du bismuth. Enfin l'illustre Faraday commença, en 1845, au moyen d'un puissant électro-aimant de son invention, une série d'expériences qui eurent pour résultat d'établir que la plupart des corps, et probablement tous, sont sensibles à l'action des aimants, dans un sens ou dans l'autre, les uns étant attirés et les autres repoussés. Faraday conserva aux premiers le nom de *magnétiques* et appela les autres *diamagnétiques*.

Ainsi, le diamagnétisme est la propriété qu'ont certains corps d'être repoussés par les aimants.

Pour mettre en évidence les phénomènes de diamagnétisme, Faraday approchait des pôles d'un électro-aimant un petit évier de papier, suspendu à un fil sans torsion, préservé, par une cage vitrée, des agitations de l'air. On s'était assuré que ni le papier ni le fil ne contenaient aucune parcelle de corps soit magnétiques, soit diamagnétiques. Le petit évier supportait une lige de la substance à essayer. Si cette substance était magnétique, la lige prenait la direction axiale de l'aimant, c'est-à-dire qu'elle se plaçait suivant la ligne des pôles. Si la substance était diamagnétique, la lige prenait la direction équatoriale, c'est-à-dire qu'elle se plaçait perpendiculairement, ou, du moins, obliquement à la ligne des pôles.

Pour opérer sur des liquides, on les enfermait dans des tubes de verre très mince, après s'être assuré que le verre employé est à peu près indifférent à l'action de l'aimant, ou, au moins, après avoir constaté dans quelle mesure il y est sensible. Puis on suspendait le tube horizontalement entre les pôles d'un électro-aimant.

De belles expériences de MM. Plücker, Matteucci et Quet ont mis en évidence les déformations que subissent les liquides. Pour faire ces expériences, on verse un peu du liquide à essayer dans un verre de montre, et, lorsque ce verre est posé entre les pôles d'un puissant électro-aimant, on voit le liquide se creuser au milieu s'il est attiré, et se renfler lorsqu'il est repoussé.

C'est encore M. Plücker qui a démontré le dia-

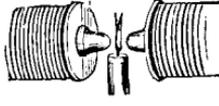


Fig. 1.

gnétisme des gaz incandescents ou des flammes. Il s'est servi pour cela d'électro-aimants dont les extrémités sont terminées par des cônes à sommet arrondi, et disposées en regard l'une de l'autre (fig. 1). La flamme est placée entre ces deux extrémités con-

ques, et on la voit s'aplatir, s'étaler dans la direction équatoriale, et prendre différentes formes (fig. 2), suivant la position de la ligne des pôles de l'aimant et suivant la nature du combustible.

Quant aux gaz, pris à la température ordinaire, ou simplement chauds, il a été jusqu'ici à peu près impossible de déterminer nettement leur sensibilité magnétique. Comme la nature du milieu dans lequel un corps est plongé exerce, dans tous les cas, une grande influence sur les résultats de l'action magnétique, il est difficile d'affirmer si un gaz, qui, plus que tout autre corps, est impressionné par le milieu

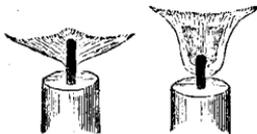


Fig. 2.

ambiant, est par lui-même magnétique ou diamagnétique. Nous ne parlerons donc pas des expériences, si ingénieuses qu'elles soient, dont les gaz ont été l'objet. Nous engageons seulement ceux de nos lecteurs qui regretteraient cette lacune à lire sur ce sujet l'exposé des beaux travaux de MM. Edmond Becquerel et Plücker, dans les *Annales de chimie et de physique* (8^e série, t. XXIV et XXXIV).

Influence du milieu sur le diamagnétisme des corps. — Le diamagnétisme des substances dont nous avons donné la liste au mot DIAMAGNÉTIQUE (corps) ne peut être absolument garanti qu'autant que ces substances sont à l'état pur, et, de plus, essayées dans le vide. La plus petite quantité de fer peut rendre magnétique une substance qui ne l'est pas naturellement. Un morceau de bois peut cesser d'être diamagnétique lorsqu'il a été taillé au couteau.

Les résultats peuvent encore être modifiés par une foule de circonstances, telles que les positions respectives des différentes pièces de l'appareil, etc. La pratique, mieux que toutes les règles, enseigne à l'expérimentateur les précautions dont il doit s'enlever avant d'adopter une conclusion.

Mais ce qui est plus important, et d'ailleurs plus accessible à la détermination, c'est ce fait, que le milieu dans lequel est plongé un corps a une grande influence sur l'intensité comme sur le sens de l'action magnétique. Ainsi, un tube rempli d'air paraît magnétique dans le mercure, dans l'eau, dans l'alcool, et diamagnétique dans les dissolutions suffisamment concentrées de sels de fer, de cobalt ou de manganèse, etc. La loi de ces faits sera plus amplement étudiée au mot MAGNÉTISME. Nous nous contenterons ici d'en donner la formule d'après MM. Plücker et Ed. Becquerel, qui y sont arrivés par des procédés différents : *L'action répulsive exercée par un aimant sur un corps plongé est égale à l'effet (attractif ou répulsif) qu'éprouverait le corps dans le vide, diminué de l'effet qu'éprouverait le volume de fluide déplacé par ce corps.*

Polarité diamagnétique. — Lorsque l'un des corps que nous avons appelés diamagnétiques est mis en présence d'un aimant, ou lorsque, ayant la forme d'un barreau, il est placé dans une hélice parcourue par un courant électrique, on constate que

l'action répulsive manifestée par ce corps se localise principalement dans le voisinage des extrémités, en deux points appelés pôles, qui sont ainsi les centres de l'action répulsive dont le corps paraît doué. Si, de plus, on parvient à faire agir l'un sur l'autre deux barreaux diamagnétiques, on reconnaît qu'ils s'attirent réciproquement par deux de leurs pôles, et se repoussent par les deux autres, comme les aimants.

Ce partage de l'action répulsive en deux centres de noms contraires, ou, en d'autres termes, cette polarité des substances diamagnétiques, bien que rationnellement conçue d'après la connaissance des lois du magnétisme, a été longtemps niée par plusieurs physiciens, et, de fait, elle est restée longtemps sans preuves expérimentales concluantes. M. Tyndall, le premier, l'a mise hors de doute par l'expérience suivante :

Deux petits barreaux b, b' (fig. 3) d'une substance diamagnétique sont attachés à un cordon sans fin, qui passe sur deux poulies P, P' , de manière que, quand l'un monte, l'autre descend. Ils sont suspendus dans l'intérieur de deux tubes de cuivre, autour desquels circulent deux hélices égales, destinées à recevoir un courant. Il s'agit de constater la polarité des barreaux pendant le passage

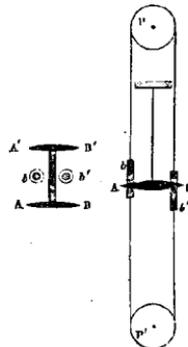


Fig. 3.

du courant. Pour cela, un système ASTATIQUE d'aimants horizontaux AB (que l'on voit en projection à part $AB, A'B'$) est suspendu à la hauteur du milieu des hélices, et peut être soulevé ou abaissé. Nous omettons quantité de détails qui ont pour effet de donner à l'appareil stabilité, précision et délicatesse, et de permettre de constater la déviation des aimants, lesquels ne sont astatiques que pour être soustraits à l'influence de la terre. Toutes les dispositions étant prises, on place les barreaux b, b' à la même hauteur; leurs milieux sont alors en regard des aimants. Or, ceux-ci n'éprouvent aucune déviation. Cela prouve que les actions exercées sur l'ensemble des aimants sont nulles ou s'entre-détruisent. Si, ensuite, en faisant tourner la poulie P , on amène les barreaux à avoir, l'un son extrémité inférieure, l'autre son extrémité supérieure, au niveau des aimants, comme on le voit dans la fig., ces extrémités étant douées de polarités contraires, l'une repousse l'ensemble des aimants, l'autre l'attire, et le système est dévié. La déviation a lieu en sens contraire, lorsqu'on intervient la hauteur des barreaux.

En évaluant, d'une part, les angles de déviation du système astatique; en mesurant, d'autre part, au moyen d'une boussole des sinus, l'intensité du courant qui circule autour des barreaux, on est arrivé à cette loi : *Les actions diamagnétiques sont sensiblement proportionnelles au carré de l'intensité du courant.*

La belle expérience de M. Tyndall suggère naturellement une théorie, hypothétique, il est vrai, mais très plausible, des phénomènes magnétiques. On

sait que, placé entre les deux pôles d'un électro-aimant, un barreau de fer prend la direction axiale, parce que chacun des pôles de l'aimant fait naître, à l'extrémité du barreau qui le regarde, un pôle de nom contraire au sien, pôle qu'il attire, par conséquent. Or, si un barreau de bismuth prend, lui, la direction équatoriale, ne vient-il pas spontanément à l'esprit, surtout après l'expérience de M. Tyndall, que c'est parce que chacun des pôles de l'électro-aimant développe à l'extrémité du barreau diamagnétique qui le regarde un pôle de même nom que le sien propre, pôle que, par conséquent, il repousse ? L'aimantation produirait donc deux modes différents de polarité : dans certains corps, la polarité magnétique; dans d'autres, la polarité diamagnétique. Mais comment expliquer qu'une même cause engendre des effets opposés ? Cette opposition n'est-elle qu'apparente, et s'explique-t-elle, comme le croit M. Ed. Becquerel, par l'état magnétique du milieu dans lequel les corps sont plongés, ou bien résulte-t-elle, comme le veut M. de La Rive, de l'état atomique des corps, des distances mutuelles de leurs molécules, distances qui, étant différentes, modifieraient la direction et l'intensité des courants intermoléculaires ? C'est ce que nous examinerons de plus près dans l'article consacré au MAGNÉTISME.

DIAMAGNÉTOMÈTRE. — Instrument servant à mesurer le DIAMAGNÉTISME d'un corps.

DIAPHOTE (du grec *dia*, à travers; *photos*, lumière).—(V. PHOTOPHORE ET VISION PAR L'ÉLECTRICITÉ.)

DIAPHRAGME. — Nom donné à certaines cloisons servant en pratique à séparer dans les PILES des liquides différents sans empêcher le passage de l'électricité.

DIÉLECTRIQUE. — Ce mot est devenu synonyme de mauvais conducteur de l'électricité. On désigne sous le nom de CAPACITÉ DIÉLECTRIQUE le rapport entre la capacité de deux CONDENSATEURS d'égales dimensions, dont l'un est à lame d'acier et l'autre formé de diélectrique dont on cherche la CAPACITÉ INDUCTIVE SPÉCIFIQUE. On adopte comme unité de capacité diélectrique celle de l'air sec à zéro degré centigrade et à la pression de 760 millimètres de mercure.

DIFFÉRENTIEL (Galvanomètre). — (V. GALVANOMÈTRE.)

DILATATION ÉLECTRIQUE DU VERRE. — Volta avait observé que lorsqu'on charge une bouteille de Leyde en verre le volume intérieur de cette bouteille augmente. MM. Duter, Righi et Quincke ont constaté le même fait. Ces physiciens ont cru que l'accroissement du volume intérieur était dû à la dilatation de l'enveloppe. Ils pensent que cette dilatation est produite soit directement par l'électricité, soit par un effet secondaire dû à ce que les deux charges électriques accumulées sur les deux faces du verre compriment celui-ci et tendent à l'aplatir dans un sens et à le dilater dans toutes les autres directions.

DIPLEX (du grec *dis*, deux fois; et suffixe multiplicatif latin *piez*). — Système de télégraphie permettant d'envoyer simultanément dans le même sens deux dépêches par le même fil. (V. TRANSMISSION SIMULTANÉE.)

DISJONCTEUR. — Genre de commutateur destiné à rompre brusquement un circuit. (V. COMMUTATEUR.)

DISPERSION ÉLECTRIQUE. — Diminution de POTENTIEL d'un conducteur par son contact avec l'atmosphère et par ses supports isolants.

DISQUE ÉLECTRIQUE. — Signal visuel de protection des gares ou de certains points dangereux des voies ferrées, et manœuvré à distance au moyen de l'électricité. Les disques électriques sont très employés par certaines Compagnies de chemins de fer étrangers, notamment par les Compagnies autrichiennes, de préférence aux disques manœuvrés à l'aide de transmissions mécaniques.

En effet, les disques électriques possèdent sur les disques à traction mécanique les avantages suivants :
1° Dans le cas où le signal est placé à plus de 1.500 mètres du point d'où on doit le manœuvrer (ce qui arrive fréquemment), sa manœuvre au moyen de fils de fer offre des difficultés assez grandes. Le levier de rappel du disque doit être assez lourd pour vaincre, en retombant, les frottements et l'inertie du fil sur toute sa longueur et le ramener ainsi en sens inverse du déplacement initial; d'autre part, le levier de manœuvre qui soulève le contrepoids, en même temps qu'il met le fil en mouvement, doit exercer nécessairement un effort de traction double de celui que produit le levier de rappel. Quand on allonge les transmissions au delà de la limite ci-dessus indiquée, il arrive donc un moment où l'effort dépasse la résistance des fils de 0^m,003 à 0^m,004 de diamètre ordinairement employés, et détermine fréquemment leur rupture, surtout quand il faut manœuvrer les signaux par un grand vent. Cette difficulté disparaît lorsqu'on emploie des disques mus électriquement, puisqu'il suffit de rétablir ou d'interrompre un circuit pour manœuvrer le signal, qui peut dès lors être situé à une distance quelconque de la gare ou du point à protéger.

2° Les aiguilles qui donnent accès aux voies principales dans une gare pourraient être enclenchées, à peu de frais, avec les signaux qui les protègent, si ces signaux étaient mus par le courant électrique continu fourni par une pile placée à la gare.

MM. Brame et Regnault, en étudiant la question à ce point de vue, ont été conduits à penser qu'il serait possible de remplacer, dans les postes de concentration d'appareils, les enclenchements et les transmissions mécaniques relatifs aux signaux et aux verrouillages d'aiguilles par des enclenchements et des transmissions électriques ou plutôt électro-mécaniques, en ne laissant subsister dans les postes que les leviers reliés aux aiguilles de changement de voies par les tringlées de connexion. Alliant plus loin encore, M. Brame disait, dans une note publiée à la fin de l'année 1883 dans la *Revue générale des Chemins de fer*, que l'on pouvait concevoir le remplacement de ces leviers eux-mêmes et le fonctionnement des aiguilles sous la main de l'homme par des dispositions électro-mécaniques, et la mise en action par des forces électriques.

Dès maintenant, avec les systèmes connus et qui ont fait leurs preuves, on peut enclencher électriquement, d'une façon assez simple, les signaux et les changements de voies de toute une gare.

En effet, si on suppose qu'aux deux extrémités de la gare se trouvent des disques électriques restant ouverts tant que passe, dans les électro-aimants qui commandent le mécanisme de ces appareils, le courant continu d'une pile placée à la gare et venant à se fermer dès qu'on interrompt le courant, il est facile de comprendre que l'on puisse disposer les choses de façon que le signal se mette automatiquement à l'arrêt dès que l'on fera dans la gare une manœuvre intéressant les voies principales. Il suffira d'installer à

chaque aiguille de changement de voies un **INTERRUPTEUR** d'aiguille dont le verrou enclenche dans la position normale la barre d'enclenchement reliée au levier de manœuvre de cette aiguille. Ce verrou est muni d'une came qui appuie sur deux lames de ressort portant des contacts en platine et par lesquels passe le courant qui maintient le disque ouvert. Si l'on manœuvre le verrou pour déclencher l'aiguille, la came cesse de presser sur les ressorts, le courant est interrompu et le disque se met à l'arrêt.

En installant, à la gare même, un manipulateur constitué par un électro-aimant intercalé dans le circuit du disque, par l'intermédiaire d'un voyant rouge qui lui sert d'ARMATURE, on peut rétablir ou interrompre à volonté le courant, et, par suite, ouvrir ou fermer le signal avancé.

On peut aussi placer, à une certaine distance de ce signal, une **RÉALÉ** et obtenir la protection électro-automatique des trains qui ont franchi le disque avancé et qui sont entrés en gare.

En résumé, tous les appareils électriques: pédales, manipulateur, interrupteurs d'aiguilles, placés dans le circuit du disque avancé, sont disposés de telle sorte que les contacts électriques soient établis pour la position normale du disque ouvert; et si l'on déränge de cette position normale l'un quelconque de ces appareils, le disque se mettra à l'arrêt.

Il convient également de faire remarquer que l'on peut obtenir l'enclenchement réciproque de deux ou de plusieurs signaux, tels que ceux placés aux bifurcations, à l'aide d'un simple COMBINAISONNÉUR électrique qui ne permette d'envoyer le courant sur un fil qu'à la condition d'avoir, au préalable, rompu la communication à la pile sur tel ou tel autre fil.

Les disques électriques peuvent donc, comme on le voit, rendre, dès maintenant, d'importants services pour l'exploitation des chemins de fer.

Les seuls systèmes de disques électriques employés jusqu'ici d'une manière courante reposent sur l'emploi d'un mouvement d'horlogerie qui actionne le signal visuel. L'électricité ne fait que déclencher ce mouvement d'horlogerie, qui est à poids; les mouvements d'horlogerie à ressort sont plus coûteux et peuvent se casser; il n'y a du reste aucune utilité à réduire le volume de l'appareil de manœuvre.

Quelques inventeurs ont cherché à faire agir l'électricité directement; mais, comme ils n'ont employé que les faibles sources usitées en télégraphie, ils ont dû se borner à faire osciller des masses très peu considérables au moyen d'organes délicats, et ils ont été réduits, pour masquer l'impuissance de ces appareils de laboratoire, à les enfermer dans des boîtes vitrées bien étanches, aux dépens de leur visibilité.

Voici la description sommaire des disques électriques les plus connus.

Disque Leopolder. — Il se compose d'un disque immobile dont la moitié inférieure, peinte en rouge, vient, par un mouvement de rotation et de glissement, recouvrir la partie supérieure peinte en blanc, lorsqu'on veut produire le signal d'arrêt.

Disque Schoenhach. — Ce disque est animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe vertical; cette rotation, qui est alternativement de 90° et de 270° est transmise du mouvement d'horlogerie à l'axe par un engrenage d'angle. Il y a un échappement électrique à fourche, comme dans les cloches Leopolder; le transmetteur de manœuvre est une manivelle qui ne tourne que dans un seul sens et qui peut occuper les trois positions suivantes: *repos*; *signal*; *rappel du disque*. À la position de *repos*, le courant est interrompu; à celle de *signal*, le circuit est fermé, le mouvement

d'horlogerie est déclenché et le signal se met à l'arrêt. En passant de la position de *signal* à celle de *rappel* du disque, le courant est alternativement interrompu et rétabli, un nouveau déclenchement est produit et le disque est rouvert. Pour que le courant ne circule pas en permanence, il faut ramener la manivelle à la position *repos*.

Disque Teirich. — Ce disque, qui n'est qu'un perfectionnement du précédent, est animé d'un mouvement de rotation alternatif d'un angle de 90°. La ligne est normalement parcourue par le courant d'une pile; c'est son interruption qui produit la mise à l'arrêt; la rupture du fil conducteur n'est donc plus une cause de danger. Pour empêcher qu'un courant atmosphérique survenant pendant que le disque est à l'arrêt ne le ramène à voie libre, M. Teirich a adapté à son appareil un organe spécial, grâce auquel toute émission ou rupture de courte durée du courant est sans effet sur le déclenchement.

L'inventeur a également combiné un type d'appareil marchant au moyen de COURANTS D'INDUCTION. L'échappement à ancre seul est changé. Il est modifié de telle façon que le déclenchement ne puisse s'effectuer que par une série de cinq ou six alternatives de courant. Ce système de disque est employé par la Société autrichienne des chemins de fer de l'État.

Disque Weyrich. — Comme dans le système précédent, le déclenchement est un échappement à fourchette renversé. Un courant continu parcourt normalement la ligne et un rappel de déclenchement rend sans effet une rupture ou une émission momentanée de courant.

Disque Schaeffler. — Ce disque est mû par un mouvement d'horlogerie analogue à celui des cloches Leopolder et contenu dans le socle du signal. Le rouage est actionné par un contre-poids moteur qu'il faut remonter avant sa chute à fond de course. Cette force, ainsi accumulée à l'avance, actionne le mécanisme chaque fois qu'un courant électrique est lancé ou interrompu dans le circuit. Le déclenchement électrique est combiné de telle sorte, que si l'animation de l'électro-aimant n'est pas durable (ce qui arrive dans le cas où un COURANT ATMOSPHÉRIQUE passe dans le fil), la roue du mécanisme sur laquelle est l'échappement fait non un demi-tour, mais un tour complet, et le signal, après s'être effacé, se remet à l'arrêt. Le signal ne peut donc jamais prendre une autre position que celle qu'on a l'intention de lui donner au poste d'où on le manœuvre.

M. Schaeffler obtient les deux rotations en sens inverse de 90° chacune par une poulie oblique embrassée par une fourche formée du prolongement de l'axe du disque ou à l'aide d'une manivelle à fourche.

Disque G. Dumont et Postel-Vinay. — Le disque précédent se fait remarquer par ses dispositions cinématiques ingénieuses; mais, en pratique, le mouvement d'horlogerie, qui comporte des rouages, s'use assez rapidement, s'il n'est pas parfaitement garanti de la poussière. Le disque électrique imaginé par MM. G. Dumont et Postel-Vinay ne comporte aucun rouage; son mécanisme est fort simple et ne se compose que de pièces très rustiques; il fonctionne comme le disque Schaeffler sous l'action du courant continu fourni par une pile au sulfite de cuivre. Le mécanisme qui produit la rotation de l'arbre du disque est placé à l'extrémité inférieure de cet arbre, dans une boîte séparée; cette boîte est posée sur un socle, et le mouvement de rotation de l'arbre auxiliaire contenu dans la boîte est transmis à l'arbre du disque à l'aide d'un parallélogramme ou d'une bielle. Dans ces conditions,

un disque à transmission mécanique peut être transformé en un disque à transmission électrique sans qu'il soit nécessaire de le déposer. Cet appareil a été mis à l'essai par la Compagnie des chemins de fer de l'Est français, et fonctionne avec succès depuis le mois d'août 1886.

Disque Hipp. — Les courants qui produisent la mise à voie libre et la mise à l'arrêt du signal sont envoyés au moyen de deux fils distincts. Le mécanisme moteur du signal sert en même temps de commutateur, de sorte qu'à chaque manœuvre du disque l'appareil se remet automatiquement en contact, en vue de la manœuvre subséquente. Le disque est à mouvement continu, il tourne de 90° à chaque émission de courant; il est à double face rouge, de sorte que, quand il est effacé, il y a toujours un voyant rouge parallèle à la voie (dans les perles de voie en courbe, cette disposition peut être une cause de confusion pour les mécaniciens).

L'électricité atmosphérique n'a aucune action sur ce système; grâce à l'emploi de deux fils, le circuit ne se trouve jamais fermé que pour la position à laquelle on a voulu précisément amener le signal.

Disque Rommel. — L'inventeur a pris une disposition ingénieuse pour écarter l'influence de l'électricité atmosphérique. Quand le disque est à l'arrêt, une émission de courant déclenche le mécanisme moteur, mais ne le réenclenche à voie libre que si le courant est constant. Une interruption de courant ou une rupture de circuit ramène le disque à l'arrêt, mais ne l'y maintient que si elle n'est pas passagère.

Disque Hattomer. — Il fonctionne sous l'influence de courants d'induction. Le passage de la position d'arrêt à celle de voie libre s'obtient par trois séries de courants alternatifs, tandis que le passage de la position de voie libre à celle de voie fermée ne nécessite qu'une émission. Comme l'appareil exige un travail électrique pour fonctionner et que, par suite, il ne se mettrait pas à l'arrêt sans une interruption du circuit, on l'a disposé de façon qu'il décèle lui-même toute interruption. Le déclenchement est obtenu par l'abaissement d'un assez fort marteau; grâce à sa lourdeur, les trépidations, qui n'ont jamais une puissance aussi forte que lui, n'ont aucune action sur le fonctionnement de l'appareil.

Disques à action directe. — Tous les disques décrits plus haut (pour la plupart de ces disques la description a été empruntée au remarquable rapport de M. Weissenbrück au congrès tenu, en 1885, à Bruxelles à l'occasion de la célébration du cinquantième des chemins de fer belges) sont mus par un mécanisme d'horlogerie à poids. M. Weissenbrück donne aussi les indications suivantes sur les principaux systèmes de disques à action directe.

MM. Pope et Hendrickson et M. Larigue ont imaginé un disque, à action directe, caractérisé par l'apparition de voyants derrière des lunettes. Ces disques constituent ainsi de véritables appareils de correspondance.

M. Rikli a construit un disque composé d'un pendule oscillant entre les armatures de deux électro-aimants. Le mouvement du pendule est communiqué au disque par une combinaison cinématique de leviers, calculés de telle sorte que l'amplitude d'une oscillation du pendule fasse tourner l'axe du disque de 90°. La manœuvre de cet appareil exige deux fils et un manipulateur dont les deux leviers sont reliés de manière que l'un d'eux s'élève quand l'autre s'abaisse. De cette façon le courant ne traverse jamais qu'un seul électro-aimant, et il les traverse alternativement.

Le pendule va donc se coller à une bobine, puis à l'autre. Ce système, qui présente des inconvénients sérieux en pratique, n'a jamais été appliqué qu'à titre d'essai.

Enfin le sémaphore Currie et Timmis, qui a été essayé en Amérique, se compose d'un bras fixé en son milieu à un axe autour duquel le bras oscille une tige commandée elle-même par l'écran à double verre qui masque le feu de la lanterne fixée au mât. Le poids de cet écran tend à faire retomber le bras dans sa position horizontale; pour effacer le signal, il faut relever l'écran. Pour obtenir ce mouvement, on emploie un aimant à longue attraction, sorte de solénoïde capable de développer une action assez énergique pour produire un mouvement d'une certaine puissance. Cet aimant est composé de deux tubes concentriques de fer doux réunis entre eux par des plaques de même métal, de manière à former une boîte annulaire remplie de fils de cuivre. Une sorte de piston creux peut glisser à l'intérieur de cette boîte annulaire. L'aimant commence à agir sur son noyau de la même façon qu'un solénoïde jusqu'à ce que ce noyau soit enfoncé assez loin dans le tube, la force d'attraction décroissant à mesure que le noyau s'enfonce; mais, comme l'armature s'approche de l'aimant et commence à entrer en jeu à une certaine distance, la force d'attraction reste à peu près constante. On a donné à cette armature la forme d'un couvercle qui épouse la plate-forme supérieure de l'aimant et il suffit d'une faible force pour la maintenir en contact; quand le courant passe, l'aimant attire son armature, l'écran démasque la lanterne et le sémaphore s'abaisse. Les sources d'électricité sont des ACCUMULATEURS.

La solution qui paraît la plus rationnelle pour réaliser la manœuvre directe des disques par l'électricité est d'installer une MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE à la station, actionnant une autre machine faisant tourner l'arbre du disque. Nous ne connaissons pas d'exemple d'installations de ce genre.

DISRUPTIVE (Décharge). — (V. DÉCHARGE ET ÉTINCELLE.)

DISSIMULÉE (Électricité). — Qualificatif impropre dont on se sert pour désigner l'électricité qui reste sur les deux surfaces du DIÉLECTRIQUE d'un CONDENSATEUR lorsqu'on enlève ses armatures, et qui n'est pas apparente parce que l'électricité qui est sur une face est neutralisée et attirée par une quantité d'électricité égale, mais de nom contraire, située sur l'autre face.

DISTRIBUTEUR. — Appareil employé dans le *télégraphie Baudot* pour transmettre les combinaisons du manipulateur. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ. — Distribution de l'électricité dans les corps électrisés. — Se dit aussi de l'action de distribuer ou répartir l'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE sur plusieurs points où elle doit être utilisée.

Il existe plusieurs moyens de distribuer l'énergie électrique produite dans une usine ou STATION CENTRALE. On peut :

1° Charger dans l'usine des ACCUMULATEURS qui sont transportés au lieu d'emploi; ce moyen est coûteux, puisqu'il faut environ 75 kilogrammes d'accumulateurs pour fournir 270.000 kilogrammètres; il n'est par conséquent applicable que dans des cas particuliers.

2° Établir une véritable CANALISATION d'électricité, comme on établit une canalisation pour la distribution de l'eau; seulement les tuyaux sont remplacés, dans le cas de la distribution de l'électricité, par des CONDUCTEURS métalliques.

Ce moyen est le seul qui soit véritablement pratique, industriellement parlant.

La distribution de l'énergie électrique par conducteurs métalliques admet un grand nombre de solutions : ainsi on peut se proposer de faire circuler dans le réseau distributeur l'énergie électrique telle qu'elle est produite dans l'usine centrale en laissant le soin aux consommateurs de l'utiliser directement. Ou bien, on peut intercaler, entre les appareils qui doivent consommer l'énergie électrique et les conducteurs qui amènent cette énergie de l'usine de production, des TRANSFORMATEURS, c'est-à-dire des appareils ayant pour but de changer les qualités du courant afin de le rendre plus propre aux applications qu'on veut en faire.

Dans le premier cas, lorsque le courant envoyé de l'usine centrale de production circule dans une conduite générale, on peut alimenter les divers récepteurs (lampes à arc et à incandescence, moteurs, bains galvanoplastiques, etc.) de deux manières différentes : on peut les disposer en SÉRIE ou en TENSION, ou bien on peut les disposer sur des DÉRIVATIONS distinctes prises sur les conducteurs principaux.

Ce problème a une grande importance dans l'industrie, car il ne s'agit pas seulement d'installer des conducteurs de diamètre assez grand pour ne pas s'échauffer sensiblement et ne pas absorber une quantité d'énergie supérieure à une limite donnée ; il faut aussi que tous les appareils desservis puissent fonctionner indépendamment les uns des autres. Le problème de la distribution de l'électricité doit se résoudre en deux : 1° aménager la source d'électricité de telle façon qu'elle fournisse à chaque instant la quantité d'énergie nécessaire ; 2° disposer la conduite de telle façon qu'elle apporte toujours à chaque récepteur ce dont il a besoin.

Tout appareil utilisant l'énergie électrique pour produire de la lumière ou du travail, ou faire de la GALVANOPASTIE, a besoin pour fonctionner qu'on lui fournisse à chaque instant un certain nombre d'AMPÈRES sous un POTENTIEL déterminé. Or, dans une distribution générale, on ne saurait faire varier ces éléments dans des limites très étendues ; il faut donc que tous ces appareils soient construits d'une manière spéciale, pour faire partie de la distribution. En général, on les dispose tous pour fonctionner soit avec une INTENSITÉ, soit sous une différence de potentiel constante.

Ainsi, on peut dire que des deux termes : intensité et différence de potentiel, dont le produit représente l'énergie électrique, l'un sera toujours constant pour tous les appareils faisant partie d'un même système de distribution. Il en résulte que les divers systèmes de distribution électrique peuvent être partagés en deux grandes classes, suivant que les appareils fonctionnent sous une intensité ou sous une différence de potentiel constante. On doit ainsi distinguer deux types de distribution d'électricité par conducteurs métalliques : la distribution en série et la distribution en dérivation.

Distribution en série ou en tension.

— Les récepteurs sont successivement traversés par le courant de la machine génératrice (fig. 1). Pour

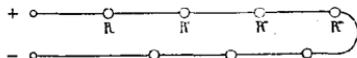


Fig. 1.

assurer leur fonctionnement, il faut disposer, aux bornes de la machine, d'une différence de potentiel égale à la somme des forces électromotrices nécessaires à chaque récepteur et de la force électromotrice dépensée à vaincre la résistance des conducteurs.

Si ϵ est la chute de potentiel disponible aux bornes de la machine ; si R, R', R'', \dots sont les résistances des différents récepteurs et r la résistance des conducteurs, l'intensité I du courant qui traverse le système de distribution aura pour valeur :

$$I = \frac{\epsilon}{R + R' + R'' + \dots + r}$$

Il suffit, pour assurer le fonctionnement normal des différents récepteurs, de maintenir constante l'intensité I du courant, quel que soit le nombre des récepteurs en service. On peut y arriver facilement en substituant à chaque récepteur en repos une résistance équivalente ; mais ce changement, s'il ne trouble pas le fonctionnement des autres récepteurs, ne diminue pas l'énergie dépensée par la machine génératrice, énergie qui reste égale à celle nécessaire quand tous les récepteurs fonctionnent simultanément. Faute dans de telles conditions, une distribution électrique serait trop onéreuse, elle ne pourrait recevoir aucune application importante. Le but à atteindre est donc de faire varier la force électromotrice E de la machine génératrice de telle sorte que la différence de potentiel ϵ à ses bornes soit toujours celle strictement nécessaire à la mise en action des récepteurs en service. Si ΣR représente la somme des résistances des récepteurs à actionner simultanément, il faut toujours que l'on ait

$$E = I(\Sigma R + r),$$

r désignant la résistance intérieure de la machine.

On peut obtenir ce résultat de plusieurs manières : M. Marcel Deprez y est arrivé en excitant la machine génératrice par deux courants, l'un dérivé du courant principal, l'autre produit par une machine excitatrice indépendante. Cette solution a l'avantage de réaliser automatiquement le problème d'une distribution à intensité constante. Il a été essayé à Paris à l'Exposition d'électricité de 1881, mais il n'a reçu depuis aucune application.

Un autre procédé automatique consiste à rendre variable le calage des balais de la machine dynamo. Les porte-balais sont articulés et peuvent se déplacer autour de l'axe de la machine sous l'action d'un régulateur électrique spécial actionné par le courant (système Maxim, système Thomson-Houston).

Enfin, on peut modifier le CHAMP MAGNÉTIQUE de la machine génératrice : 1° en intercalant des résistances dans le circuit même des INDUCTEURS, si la machine est excitée en dérivation ou par une excitatrice indépendante ; 2° en plaçant des résistances en dérivation sur le circuit inducteur, si la machine est excitée en circuit.

Les procédés automatiques imaginés pour introduire ces résistances successives n'ont pas réussi, et on doit le faire à la main.

On pourrait encore faire varier la force électromotrice de la dynamo génératrice, en changeant sa vitesse de rotation.

M. Cabanelas, qui a le premier proposé un système de distribution bien étudié, et qui a montré les avantages de la distribution en série, se servait d'un grand nombre de machines identiques qui, tournant toutes à la même vitesse, développaient une même force électromotrice, lorsqu'elles étaient introduites dans le circuit. Toutes ces machines tournaient continuellement, et un appareil automatique, commandant un commutateur spécial, faisait varier à chaque instant le nombre de machines comprises dans le circuit, de façon que la force électromotrice totale développée fût celle qui convenait pour alimenter le circuit avec l'intensité voulue.

Cette solution est très judicieuse; car, les machines travaillant toujours de la même façon, il était possible de faire produire un système tout ce qu'on pouvait lui demander lorsque tous les appareils de la distribution fonctionnaient, et d'arriver ainsi à une dépense de premier établissement très réduite.

Son défaut consistait dans la complication des transmissions nécessitées par l'emploi d'un grand nombre de petites machines indépendantes, mais il serait facile d'y remédier en les fondant en une seule grande machine MULTIPOLAIRE, comme nous l'avons montré à l'article ACCOUPLEMENT.

Nous allons revenir maintenant à la solution de M. Marcel Deprez.

Voici par quelles considérations il y est arrivé. Soient :

- I_a le courant qui parcourt l'INDUIT;
- I_b la portion dérivée dans les INDUCTEURS;
- a la RÉSISTANCE de l'ANNEAU;
- b — des inducteurs;
- x — du circuit extérieur;
- E la force électromotrice de la machine;
- e la différence de potentiel aux bornes de la machine;
- I_x l'intensité constante qui doit parcourir le circuit extérieur.

Nous avons les relations :

$$I_a = I_b + I_x$$

$$I_x = \frac{e}{x} \quad I_b = \frac{e}{b}$$

d'où :
$$I_a = \frac{e}{x} + \frac{e}{b}$$

Mais on a d'autre part :

$$I_a = \frac{E}{a + \frac{1}{\frac{1}{b} + \frac{1}{x}}}$$

d'où l'on tire :

$$\frac{e}{b} + \frac{e}{x} = \frac{E \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{x} \right)}{a \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{x} \right) + 1}$$

d'où :
$$\frac{E b}{e} = \frac{(a+b)x + ab}{x}$$

d'où enfin :

$$\frac{(a+b)x + ab}{x} = \frac{E}{I_b}$$

Soit maintenant OEF la CARACTÉRISTIQUE de la machine (fig. 2); traçons la droite CB ayant pour équation :

$$y = (a+b)x + ab,$$

prenons OA = X, prolongeons l'ordonnée passant par le point A jusqu'à sa rencontre avec la droite CB, et menons la droite OB. Celle-ci coupera la caractéristique en un point E.

Traçons l'ordonnée EI, et prenons sur l'axe OY une longueur OJ = b. Par le point J faisant passer une parallèle à l'axe OX, elle rencontrera l'ordonnée AB au point G; menons OG. Cette droite rencontrera EI en un point H.

Le longueur IH ainsi déterminée représentera l'intensité totale I_x que fournira la machine.

En effet, les triangles semblables OIE, OAB, donnent :

$$\frac{EI}{OI} = \frac{AB}{OA} = \frac{(a+b)x + ab}{x} = \frac{E}{I_b}$$

D'un autre côté, nous avons EI = E et OI = I_b .

Les triangles OIH, OAG, donnent :

$$\frac{IH}{OI} = \frac{AG}{OA'}$$

ou

$$\frac{IH}{I_b} = \frac{b}{x}$$

donc

$$IH = I_b \frac{b}{x} = \frac{e}{b} \times \frac{b}{x} = \frac{e}{x} = I_x.$$

Maintenant que nous avons déterminé l'intensité I_x que fournit une machine excitée en dérivation, nous allons chercher le moyen de la rendre constante.

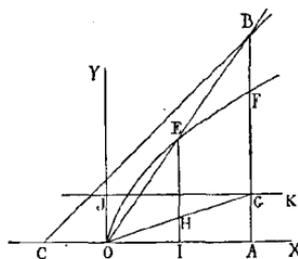


Fig. 2.

Nous supposons que la caractéristique de la machine peut être assimilée à une droite.

Construisons comme tout à l'heure la droite CB (fig. 3).

$$y = (a+b)x + ab.$$

Nous ferons tourner la machine à une vitesse telle, que sa caractéristique, supposée confondue avec sa

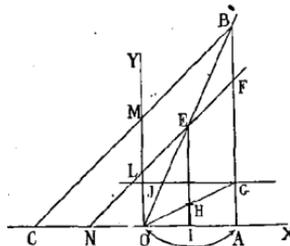


Fig. 3.

tangente à l'origine, soit parallèle à cette droite. Enfin, à l'aide d'un courant étranger, excitons partiellement les électros; cette droite ne passera plus par l'origine, mais coupera l'axe des X en un point N.

Cherchons l'intensité I_x fournie par la machine lors-

que la résistance du circuit extérieur est x . Nous appliquerons pour cela la construction de tout à l'heure.

Preons $OJ = b$, $OA = x$; menons l'ordonnée AB , joignons OB et OG , et menons enfin l'ordonnée EF passant par le point d'intersection de la droite OB , avec la caractéristique NF . Celle-ci rencontrera OG en un point H . La longueur OH représentera l'intensité cherchée.

Or, on a :

$$\frac{I_x}{b} = \frac{IH}{AG} = \frac{OE}{OB} = \frac{OL}{OM}$$

Ce dernier rapport étant constant, on a :

$$I_x = b \times \text{constante.}$$

Il résulte de ce qui précède que toutes les fois que la caractéristique d'une machine pourra être pratiquement assimilée à une droite, on pourra assujettir la machine à fournir un courant d'intensité constante, malgré les variations de résistance du circuit extérieur, en excitant ses inducteurs à la fois par un courant dérivé de celui qu'elle développe, et par un courant fourni par une source étrangère.

L'action de ce dernier peut être remplacée par celle du courant que la machine fait circuler dans le circuit extérieur, puisque, le problème étant supposé résolu, l'intensité de ce dernier courant est constante.

Détermination de la conduite. — Ce problème est des plus simples dans le cas de la distribution en série, comme nous l'avons vu plus haut. En effet, on n'a pas à se préoccuper de bien répartir l'électricité fournie, puisque c'est un courant de même intensité qui alimente successivement tous les appareils. Il suffit de donner au conducteur un diamètre assez fort pour que l'énergie convertie en chaleur Ri^2 soit plus petite que la limite que l'on veut se fixer.

La distribution en série a l'inconvénient de ne pas assurer l'indépendance des récepteurs : si un récepteur est avarié, le circuit général de distribution est coupé et le fonctionnement de tous les récepteurs est interrompu.

La distribution en série a, par contre, le grand avantage de n'envoyer dans la canalisation que des courants d'intensité peu élevée; elle ne nécessite pas l'emploi de conducteurs de section considérable; elle est d'une installation relativement économique et convient bien, par suite, au cas où les récepteurs à alimenter sont très éloignés de l'usine centrale.

Les inconvénients de ce système disparaîtront le jour où l'emploi des transformateurs dans les distributions d'électricité se sera généralisé. M. Cabanelles avait d'ailleurs prévu dans son projet l'emploi de transformateurs spéciaux qu'il avait appelés *nombers d'électricité*, et dont le principe est indiqué plus loin (page 176).

Distribution en dérivation ou en quantité. — Ce second mode de distribution de l'électricité est analogue à celui qu'on emploie pour l'eau ou le gaz. Les récepteurs R, R', R'' ,... sont disposés sur des dérivation spéciales prises aux bornes de la machine ou plus généralement sur les conducteurs principaux de distribution (fig. 4 et 5).

Dans ce système, pour que le fonctionnement d'un récepteur soit indépendant du fonctionnement des autres, il faut maintenir aux extrémités de chaque dérivation, c'est-à-dire aux bornes de la machine dynamo, une différence de potentiel constante. Si ce résultat est obtenu, l'intensité du courant dans les conducteurs principaux sera toujours celle strictement nécessaire aux récepteurs en service, l'un quelconque

pourra être mis à l'arrêt ou remis en marche sans que le fonctionnement des autres en soit troublé. Des procédés analogues à ceux que nous avons indiqués pour la distribution en série peuvent être employés pour obtenir une distribution en dérivation à différence de potentiel constante.

Le système Edison consiste à faire varier le champ

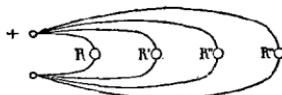


Fig. 4.

magnétique de la machine dynamo en intercalant des résistances convenables dans le circuit des électro-inducteurs. Ces résistances sont introduites à la main, et des appareils spéciaux (*volts-mètres*, *inducteurs*, *lampes-témoin*) indiquent quand il faut en

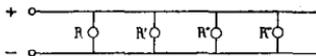


Fig. 5.

intercaler ou en supprimer. Cette solution a l'inconvénient de n'être pas automatique, et l'on préfère généralement obtenir une différence de potentiel constante aux bornes de la machine génératrice par une double excitation de ses inducteurs. Les inducteurs sont à double enroulement : l'un des circuits est établi en dérivation sur les bornes de la machine, et l'autre placé dans le circuit même de distribution.

La distribution en dérivation assure bien mieux que la distribution en série l'indépendance des récepteurs; mais, comme elle est basée sur l'emploi des courants de quantité, elle nécessite des conducteurs de très grande section et par conséquent très coûteux. La perte d'énergie dans les conducteurs (perte proportionnelle au carré de l'intensité du courant qui les traverse) est plus considérable que dans une distribution en série, et l'on peut dire qu'une distribution en dérivation offre plus de sécurité, mais à un rendement généralement inférieur à celui d'une distribution en série.

On peut procéder de deux manières lorsqu'il s'agit d'établir une distribution d'électricité à potentiel constant : ou bien les deux conduites partent des bornes de la machine pour aller mourir au point le plus éloigné de la distribution (fig. 5), ou bien les deux conduites de la distribution formeront une boucle fermée (fig. 6), et ce seront les extrémités opposées des deux conduites qui seront en relation avec les bornes de la machine.

Avec cette disposition, l'électricité a un chemin égal à parcourir sur les deux conducteurs pour arriver à un appareil quelconque. On conçoit que cela constitue un moyen précieux de faciliter la bonne répartition de l'électricité; aussi devra-t-on toujours y avoir

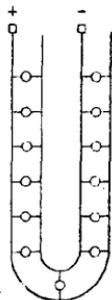


Fig. 6.

recours quand on le pourra; car, toutes choses égales d'ailleurs, il faudra dépenser beaucoup moins de cuivre dans les conducteurs qu'avec la disposition précédente.

Aménagement de la source d'électricité.—Il faut que la différence de potentiel aux bornes de départ soit maintenue constante, quelle que soit l'intensité du courant nécessaire pour alimenter les appareils branchés sur la distribution.

Or, si E est la force électromotrice d'une machine correspondant à une vitesse ω et à une intensité I, r sa résistance intérieure et H la force électromotrice aux bornes, on aura à chaque instant :

$$E = rI + H.$$

Pour que H soit indépendant de I, il faut que r soit nul, ou que E soit une certaine fonction de I.

Or, il serait très onéreux de faire des machines assez peu résistantes pour que l'on puisse avoir sensiblement $E = H$. Il faut donc faire varier E en fonction de I.

Un moyen qui nous semble excellent, bien qu'il

n'ait jamais été employé à notre connaissance, consisterait à faire varier la vitesse du moteur conduisant la dynamo. Pour cela, il suffirait de remplacer le régulateur à boules de la machine à vapeur par un appareil qui serait directement excité par les variations de la différence de potentiel. H et agirait directement sur la détente de la machine à vapeur ou le vannage de la turbine.

En général, les dynamos sont assujetties à tourner à vitesse constante. Dans ce cas, on les excite en dérivation, et on introduit, automatiquement ou à la main, des résistances auxiliaires dans le circuit des inducteurs pour faire varier l'intensité de leur champ.

On pourrait encore employer, comme M. Cabanellas, un grand nombre de machines qu'on accouplerait entre elles; en dérivation, on désaccouplerait suivant les besoins.

Enfin, M. Marcel Deprez a donné une solution de ce problème, analogue à celle que nous avons exposée plus haut à propos des dérivation en série, et qu'on trouvera décrits à l'article COMPOUND.

Calculs relatifs à l'établissement de la canalisation dans une distribution en dérivation. — Nous ne traiterons qu'un cas particulier à titre d'exemple :

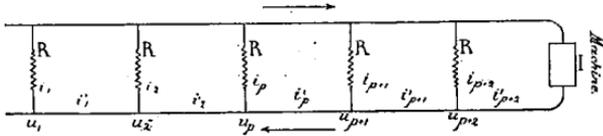


Fig. 7.

Nous supposons que tous les appareils soient branchés entre deux conduites principales, que tous ces appareils offrent la même résistance, et enfin que les portions de conduite comprises entre deux appareils consécutifs présentent toutes aussi la même résistance (fig. 7).

Nous désignons par :

- R la résistance de chaque appareil;
- r la résistance de la portion de la conduite générale comprise entre deux appareils consécutifs;
- i_1 l'intensité qui circule dans la dérivation la plus éloignée de la machine;
- i_p l'intensité qui circule dans la dérivation de rang p à partir de la dernière;
- i'_p l'intensité du courant qui circule dans la portion de conduite reliant les dérivation de rang p et (p + 1) à partir de la dernière;
- I l'intensité du courant fourni par la machine;
- U_p la résistance représentée par la dérivation de rang p et l'ensemble des dérivation et des portions de conduite comprises entre la dérivation de rang p et la plus éloignée de la machine, y compris celle-ci;
- n le nombre de dérivation.

1^o Considérons deux résistances consécutives U_p et U_{p+1} . La résistance U_{p+1} est formée par l'appareil que parcourt l'intensité i_{p+1} , par la portion de conduite parcourue par l'intensité i'_p , et enfin par la résistance U_p . Si l'on suppose que toutes les résistances soient ramenées à l'unité de longueur, les sections de ces résistances seront, d'après la loi d'Ohm :

Appareil desservi. $\frac{1}{R}$;
 Portion de conduite et résistance U_p $\frac{1}{r+U_p}$;

Résistance U_{p+1} $\frac{1}{U_{p+1}}$;

et l'on aura :

$$\frac{1}{U_{p+1}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{r+U_p};$$

d'où :

$$U_{p+1} = \frac{R(r+U_p)}{R+r+U_p} = R \frac{1}{1 + \frac{R}{r+U_p}}$$

2^o Considérons deux résistances successives de rang p et p + 1, et soient $e_p, e_{p+1}, e'_p, e'_{p+1}$ les valeurs

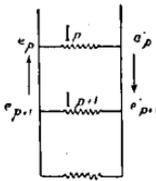


Fig. 8.

du potentiel aux quatre points de jonction de ces dérivation avec les conduites principales (fig. 8).

L'intensité qui circule entre e_{p+1} et e_p et entre e'_p et e'_{p+1} est égale à

$$i_1 + i_2 + \dots + i_p$$

La résistance de chaque portion de conduite étant égale à $\frac{r}{2}$, on a :

$$\frac{r}{2} (i_1 + i_2 + \dots + i_p) = r_{p+1} - r_p$$

$$\frac{r}{2} (i_1 + i_2 + \dots + i_p) = r'_{p+1} - r'_p + 1.$$

D'autre part on a :

$$r'_p - r'_p = Rr_p \quad r'_{p+1} - r'_{p+1} = Rr_{p+1}.$$

On en tire :

$$(i_1 + i_2 + \dots + i_p) = \frac{R}{r} (i_{p+1} - i_p)$$

ou

$$i_{p+1} = i_p + \frac{r}{R} [i_1 + i_2 + \dots + i_p].$$

On aurait donc successivement :

$$i_1 = i_1$$

$$i_2 = i_1 + \frac{r}{R} i_1$$

$$i_3 = i_2 + \frac{r}{R} (i_1 + i_2)$$

$$i_4 = i_3 + \frac{r}{R} (i_1 + i_2 + i_3)$$

$$\dots$$

$$i_{p+1} = i_p + \frac{r}{R} (i_1 + i_2 + \dots + i_p).$$

Si nous additionnons ces égalités, membre à membre, nous aurons :

$$i_1 + i_2 + \dots + i_{p+1} = i_1 + (i_1 + i_2 + \dots + i_p) + \frac{r}{R} p i_1 + \frac{r}{R} (p-1) i_2 + \dots + \frac{r}{R} i_p;$$

d'où :

$$i_p = i_1 + \frac{r}{R} (p-1) i_1 + \frac{r}{R} (p-2) i_2 + \dots + \frac{r}{R} i_{p-1}.$$

Cherchons maintenant quelle est l'expression de i_p en fonction de i_1 , et de son rang p .

On aura successivement :

$$i_1 = i_1$$

$$i_2 = i_1 \left(1 + \frac{r}{R}\right)$$

$$i_3 = i_1 \left(1 + \frac{3r}{R} + \frac{r^2}{R^2}\right)$$

$$i_4 = i_1 \left(1 + 6 \frac{r}{R} + 5 \frac{r^2}{R^2} + \frac{r^3}{R^3}\right).$$

Les coefficients d'une puissance quelconque de $\frac{r}{R}$ s'obtiennent en faisant la somme du coefficient de la même puissance de l'équation précédente et des coefficients de la puissance de $\frac{r}{R}$ inférieure d'une unité dans les équations précédentes, ainsi que l'a montré M. Cabanellas.

Considérons maintenant un triangle arithmétique de Pascal (fig. 9) :

Mécanes des lignes diagonales passant sur les chiffres extrêmes des lignes horizontales, comme on le voit ci-dessus, et désignons ces diagonales successives par i_1, i_2, \dots, i_p .

Les chiffres barrés par chaque diagonale lus de

droite à gauche représenteront les coefficients des puissances successives de $\frac{r}{R}$ dans l'expression de l'intensité i qui est inscrite à côté de cette diagonale.

En effet, considérons le coefficient de $\frac{r^2}{R^2}$ dans l'expression de l'intensité i_2 . Comme nous l'avons vu, ce coefficient doit être égal au coefficient de $\frac{r^2}{R^2}$ dans l'expression de i_1 augmenté de la somme des coefficients de $\frac{r}{R}$ dans les expressions de i_1, i_1, i_1, i_1 .

D'un autre côté, le nombre 15, qui doit être égal à ce coefficient, est trouvé, suivant la règle de Pascal,

		1	2	3	4	5	
	1						
1	1	1					
2	1	2	1				
3	1	3	3	1			
4	1	4	6	4	1		
5	1	5	10	10	5	1	
6	1	6	15	20	15	6	...
7	1	7	21	35	35	21	...
8	1	8	28	56	70	56	...
	1	9	116	84	126	126	...

Fig. 9.

en faisant la somme du chiffre supérieur et du chiffre situé à gauche de ce dernier.

Or celui-ci, égal à 5, représente le coefficient de $\frac{r^2}{R^2}$ dans l'expression de i_2 .

Quant au nombre supérieur 10, il représente la somme des coefficients des puissances inférieures d'une unité de $\frac{r}{R}$ dans les expressions de i_1, i_1, i_1, i_1 , comme on le voit immédiatement.

Ceci étant posé, nous rappellerons que, dans le triangle de Pascal, le nombre situé sur la m^e ligne horizontale et sur la p^e ligne verticale, représente le nombre des combinaisons de m lettres prises p à p ; autrement dit, il est égal à

$$\frac{m(m-1)(m-2)\dots(m-p+1)}{1.2.3\dots p}$$

Il suffit dès lors de jeter les yeux sur le triangle pour voir que dans l'expression générale de l'intensité i_p le coefficient de $\frac{r^m}{R^m}$ ne serait autre que le nombre de combinaisons de $p+1$ lettres prises

$p - (n + 1)$ à $p - (n + 1)$, ou de $p + (n - 1)$ lettres prises $2n$ à $2n$, c'est-à-dire à

$$\frac{[p + (n - 1)] [p + (n - 2)] \dots [p - n]}{1.2.3 \dots n}$$

Cette démonstration est due à M. Frédéric Dubost.

En procédant ainsi, on peut déterminer l'intensité qui circulera dans un des appareils quelconques de la distribution, en fonction des divers éléments du problème. On pourra donc trouver les valeurs qu'on doit attribuer à ceux-ci pour que l'intensité du courant qui doit alimenter un appareil déterminé ne puisse jamais osciller qu'entre des limites qu'on pourra se donner aussi serrées qu'on voudra.

De l'emploi des transformateurs. — Nous n'en dirons que quelques mots à cette place, renvoyant le lecteur à l'article TRANSFORMATEUR, où l'on trouvera des exemples d'applications.

Lorsqu'on veut offrir aux consommateurs un courant qui soit approprié aux divers usages que l'on a en vue, il faut placer, ainsi qu'il a été dit plus haut, entre la conduite générale de distribution et le branchement un transformateur.

Les transformateurs peuvent remplir plusieurs buts très différents et par suite être combinés de diverses manières; on peut les diviser en deux classes, comme l'a fait M. Hospitalier (*L'Electricien*, n° 69, février 1834) :

- « 1° Les transformateurs instantanés;
- « 2° Les transformateurs différés.

« Les transformateurs instantanés sont ceux qui transforment immédiatement une énergie électrique d'une nature donnée en une autre énergie électrique différente par sa nature et ses qualités, mais dont l'utilisation doit être immédiate. » Les types des appareils de cette classe sont la bobine de Ruhmkorff et le robinet électrique de M. Cabanellas.

« Les transformateurs différés sont ceux qui, bien qu'effectuant la transformation d'énergie instantanément, permettent l'utilisation ultérieure de cette énergie après un temps théoriquement illimité. Tel est, par exemple, les ACCUMULATEURS électriques. »

Les transformateurs instantanés reposent sur le principe suivant :

Le courant direct fourni par une machine génératrice à courants alternatifs, étant employé comme courant inducteur, donne naissance à des courants induits alternatifs également, mais dont l'intensité et la tension dépendent du rapport et des proportions relatives des circuits inducteur et induit, ainsi que de l'intensité du courant inducteur. Si le fil induit est long, on aura un courant de tension; s'il est gros et court, on aura un courant de quantité.

On conçoit donc qu'en couplant une série de bobines inductrices et induites, comme on couple des éléments de pile, on puisse produire des courants de qualités variables et appropriés aux applications qu'on a en vue.

M. Hospitalier dit (dans le n° de *L'Electricien* cité plus haut) que ce mode de transformation avait été expérimenté en 1877 par M. Jablchkoff.

Le robinet de M. Cabanellas se compose de deux machines calées sur un même axe et entièrement libres. L'une d'elles est parcourue par le courant de la ligne. Elle tourne et fait développer par la seconde un courant dont l'intensité sera toujours proportionnelle à celle qui traverse la première, mais le rapport de ces intensités pourra varier autant que l'on voudra à condition que l'on enroule sur les deux machines des conducteurs de grosseurs convenables.

DORURE. — (V. GALVANOPLASTIE.)

DOSOMÈTRE ÉLECTROLYTIQUE. — Appareil servant à mesurer l'intensité du courant pendant l'application médicale de l'électricité.

DOUBLE EXCITATION. — Procédé consistant à disposer autour des inducteurs d'une machine dynamo-électrique deux fils distincts dont l'un est traversé par le courant d'une excitatrice et l'autre par le courant de la machine même. (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

DOUBLEUR de Bennet. — CONDENSATEUR formé de trois plateaux recouverts d'un vernis isolant et qui, placé sur un électroscope, permet d'augmenter la charge électrique du plateau inférieur en communication avec cet instrument. En effet, si on suppose le plateau supérieur chargé d'électricité, le plateau inférieur se chargera d'électricité de même nom, et lorsqu'on retirera le plateau médian la charge d'électricité du plateau inférieur sera double et produira ainsi une déviation plus grande sur l'électroscope.

DRUMOSCOPE (du grec *dromos*, course; *skopé*, je vois). — Appareil imaginé par M. le commandant E.-F. Fournier, pour reproduire instantanément et à la volonté de l'observateur le régime des indications correspondantes, erronées et exactes, du COMPAS ou BOUSSOLE marine, et apte à être remis au point très rapidement et simplement, au moyen d'observations prises, dans la route même du navire, sur le compas étalon. Voici la description qu'en a donnée l'inventeur : « L'appareil se compose en principe de deux aiguilles horizontales en cuivre centrées sur le même axe vertical; l'une, l'aiguille *directrice*, indique, à la volonté de l'observateur, les CAPS erronés du compas sur un cercle gradué comme la rose de cet instrument, et l'autre, l'aiguille *indicatrice*, conjuguée avec la première à l'aide d'un mécanisme spécial, indique sur la graduation d'un cercle excentrique les CAPS VRAIS correspondants. »

Du Fay (Charles-François de *Cisternay*), chimiste français, né à Paris le 14 septembre 1698, mort le 17 juillet 1739. François Du Fay suivit l'exemple de son père et partagea son goût pour l'étude. Sa famille, méconnaissant sa vocation, le destinait à la carrière des armes. A quatorze ans, il devint lieutenant dans le régiment de Picardie; mais il fit un singulier militaire : au lieu de s'occuper de son service, il s'adonna entièrement à la science, particulièrement à la chimie, et se fit bientôt connaître par de remarquables travaux. Sur ces entrefaites, il fut chargé d'accompagner à Rome le cardinal de Rohan, ambassadeur de France. Dans cette ville, en présence des merveilleux débris de la civilisation romaine, il sentit s'éveiller en lui un vif désir d'étudier l'archéologie et la numismatique et put facilement le satisfaire, grâce à la variété de ses aptitudes.

De retour à Paris, il fut nommé, en 1733, membre de l'Académie des Sciences, section de Chimie, et abandonna le service militaire pour se consacrer entièrement au culte des sciences. Doué d'une grande ardeur, il embrassa successivement dans ses recherches, outre la chimie, objet de sa prédilection, l'anatomie, la botanique, l'astronomie, la géométrie et la mécanique, et se distingua dans chacune de ces branches.

Parmi ses recherches nombreuses, on doit citer celles qu'il a faites sur le phosphore du baromètre, c'est-à-dire sur la phosphorescence dans le vide barométrique,

comme on dit aujourd'hui, sur la chaux caustique, sur le mélange des couleurs dans la teinture, sur l'aiguille aimantée, etc. On lui doit aussi de curieuses découvertes sur l'électricité, qui à cette époque commençait à être l'objet d'études sérieuses. Le célèbre philosophe anglais Gray avait attiré l'attention des savants sur le fait, connu dès la plus haute antiquité, de l'attraction des corps légers par l'ambre frotté; Gray se lia avec Du Fay, et, comme le dit Fontenelle dans son *Éloge des académiciens*, « ils s'éclairèrent, ils s'animèrent mutuellement et arrivèrent ensemble à des découvertes si surprenantes et si inouïes qu'ils avaient besoin de s'en attester et de s'en confirmer l'un à l'autre la vérité ».

C'est lui qui imagina la théorie des deux fluides, qui a rendu de grands services à l'étude de l'électricité par la simplicité qu'elle a permis d'apporter dans la plupart des explications.

La variété des connaissances que possédait Du Fay lui permettait de s'occuper des sujets scientifiques les plus divers; ainsi l'on doit encore signaler ses travaux sur la double réfraction des cristaux et particulièrement du quartz et du spath d'Islande. Ce phénomène d'optique, découvert à la fois par Newton, par Huyghens et par Bartholin, était encore inexplicable. Si Du Fay n'en trouva pas la cause, il prépara du moins la voie aux découvertes ultérieures des physiciens, en effectuant un grand nombre d'expériences délicates de géométrie, c'est-à-dire de mesure des angles.

« Le plus grand titre de Du Fay à la reconnaissance de la postérité, dit M. F. Hofer, est d'avoir contribué plus qu'aucun de ses prédécesseurs à l'agrandissement du Jardin des plantes. » Ce grand établissement était très mal administré; au dire de Fontenelle, « les plantes étrangères s'amalgamaient dans des serres mal entretenues et qu'on laissait tomber; quand ces plantes avaient péri, on ne les renouvelait point, on ne réparait pas même les brèches des murs de clôture; de grands terrains demeuraient en friche ».

Un pareil état de choses émut profondément Du Fay, qui se mit en devoir de le modifier. Il fit preuve pendant dix ans d'une infatigable activité, et parvint à faire de l'ancien Jardin du roi, le Jardin des plantes actuel, le premier établissement de ce genre qui, à son époque, existât en Europe.

Du Fay mourut jeune, à l'âge de quarante et un ans; mais, à son dernier moment, il put rendre encore à la science un décret et important service: il désigna, pour lui succéder dans l'intendance du Jardin des plantes, un jeune savant, auteur de quelques mémoires académiques, encore ignorés de ses contemporains, et qui plus tard devait être le grand Buffon. La vie si courte et si pleine de Du Fay a fait l'objet d'un des plus remarquables éloges de Fontenelle.

DUPLIX. — Nom sous lequel on désigne un système d'installation des transmissions entre deux postes télégraphiques, reliés par un seul fil de ligne, permettant à ces postes d'échanger des dépêches expédiées simultanément de chacun d'eux en sens contraire. Ce procédé, qui peut être employé quel que soit le système d'appareils télégraphiques (transmetteur et récepteur) dont se composent les postes en correspondance, présente un grand intérêt, parce qu'il permet une meilleure utilisation des conducteurs qu'avec les systèmes de simple communication d'un poste à un autre.

Le montage en duplex peut être réalisé suivant deux méthodes principales: la méthode différentielle et la méthode du pont de WHEATSTONE. Il y a lieu de mentionner également la méthode indiquée par M. Tum-

maul et celle de M. ORDON. (V. TRANSMISSION SIMULTANÉE.)

DUPLICATER ou Reproducteur de charge ou Replenisser. — Appareil servant à accroître la charge d'électricité sur des conducteurs déjà électrisés et à entretenir sur eux une différence de potentiel déterminée d'avance.

DUPLICATER tournant de Nicholson. — Instrument à l'aide duquel on produit les deux espèces d'électricité, sans frottement, par la rotation. L'ÉGALISSEUR DE POTENTIEL et la MACHINE DE HOLTZ sont des appareils du même genre.

DYNAMIQUE (Electricité). — Electricité considérée comme agent moteur. (V. ÉLECTRICITÉ.)

DYNAMO. — Abréviation employée pour désigner une machine dynamo-électrique. (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

DYNAMO-ÉLECTRIQUE. — Machine servant à produire de l'électricité au moyen du déplacement d'un circuit dans un CHAMP MAGNÉTIQUE. Elle se compose essentiellement d'une ou de plusieurs bobines contenant ou non un noyau de fer doux que l'on fait passer rapidement dans un champ magnétique. Elle diffère de la machine MAGNÉTO-ÉLECTRIQUE en ce que dans cette dernière le champ magnétique est produit par des aimants permanents.

Les principales machines dynamo-électriques sont celles de Wilde, de Gramme, de Siemens, de Brush, de Lontin, de Weston, de Maxim, de Farmer-Walace, etc. (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

DYNAMOGRAPHE ÉLECTRIQUE. — Appareil enregistreur du travail des machines. Il consiste en un dynamomètre dont les variations sont enregistrées électriquement sur une bande de papier qui se déroule sous l'action d'un mouvement d'horlogerie.

DYNAMOMÈTRE. — Appareil servant à mesurer un travail produit. On en distingue deux sortes:

1° Les *dynamomètres d'absorption*, désignés généralement sous le nom de *freins*, permettent de mesurer le travail produit par un moteur;

2° Les *dynamomètres de transmission* permettent d'évaluer le travail transmis par un moteur à une machine commandée par lui.

Les premiers reposent sur le principe suivant: la machine commandée par le moteur dont on veut évaluer la puissance est remplacée par un appareil à frein présentant une résistance analogue à celle de cette machine, résistance qui doit être facile à régler, à mesurer et à maintenir à peu près constante.

Le type originnaire des dynamomètres d'absorption est le frein de Prony. Les formules suivantes permettent de calculer la puissance x du moteur et le travail T en chevaux-vapeur de ce moteur en fonction du poids P placé à l'extrémité du levier du frein, de la lare r du frein, de la longueur l du levier exprimée en mètres, et du nombre de tours par minute n de l'arbre du moteur sur lequel est appliqué le dynamomètre:

$$x = \frac{n \cdot l (P + p)}{30} \text{ kilogrammètres par seconde}$$

$$T = \frac{n \cdot l (P + p)}{30 \times 75} \text{ chevaux-vapeur.}$$

Parmi les dynamomètres d'absorption les plus employés, citons encore ceux de Kretz, Easton et Anderson, Anon, Emery, Imray, Raffard, Carpentier,

Bramwell, et enfin le frein magnéto-électrique de M. Marcel Deprez.

Le dynamomètre de transmission se place entre le moteur et la machine qu'il commande, et constitue ainsi une transmission intermédiaire dont on observe les tensions, torsions ou déformations à l'aide desquelles on peut calculer le travail transmis. Le travail ainsi mesuré est égal au travail absorbé par la machine et par le dynamomètre. Pour avoir le travail absorbé par la machine seule, il faudra donc retrancher du travail total observé le travail du dynamomètre lui-même, ce qui se fait en le tarant préalablement.

On distingue plusieurs espèces de dynamomètres de transmission : dans les uns, on déduit la mesure du travail d'une différence de tension ou de rigidité entre les deux brins d'une même courroie, dans d'autres, de la déformation subie par un ressort, et enfin dans d'autres, de la torsion de l'arbre moteur.

Les dynamomètres les plus employés sont, pour le premier genre, ceux de MM. Froude, Parsons,

Tatham, Farcot, Hofner-Alteneck, Eltha Thomson, Hopkinson; pour le second genre, ceux de MM. Mégy, Morin, Taurines, Ayrton et Perry, Darwin, Raffard, King, Whyte, et enfin pour le troisième genre, ceux de MM. Hirn et Carlo Resio.

Le dynamomètre d'absorption et le dynamomètre de transmission sont d'un usage fréquent pour mesurer le rendement des machines magnéto et dynamo-électriques.

On trouvera au mot WAGON la description des appareils dynamométriques enregistreurs réalisés par les Compagnies des chemins de fer du Nord et de l'Est français.

DYNE (du grec *dunamis*, force). — Unité de force. C'est la force qui, agissant pendant une seconde sur la masse de 1 gramme, lui imprimerait une vitesse de 0^m.01 par seconde. Une dyne est égale au quotient de la division de 0^{sr}.01 par *g*, accélération due à la pesanteur (à Paris $g = 9,8088$).

ECLAIR. — Leur vive et instantanée qui part des nuages lorsqu'il s'y produit une décharge électrique. — *Eclair fulminant*, Celui qui décrit avec une extrême rapidité une ligne de feu en zigzag, plus ou moins étendue. — *Eclair sphérique*, Celui qui affecte la forme d'une boule de feu et se déplace lentement dans l'espace. — *Eclair en nappe*, Celui qui se montre en lumière diffuse occupant un espace du ciel plus ou moins étendu. — *Eclair de chaleur*, Celui qui paraît à l'horizon, le plus souvent pendant les soirées d'été, sans nuage visible et sans bruit perceptible. (V. FOUORE.)

ECLAIRAGE ÉLECTRIQUE. — L'éclairage électrique, sur lequel on fait tous les jours de nouvelles expériences, a reçu depuis quelques années des développements considérables; on en a fait des applications très variées. Avant de faire connaître ces principales applications, nous allons rappeler les phases diverses par lesquelles ont passé les inventions qui s'y rattachent. C'est J. Davy qui a le premier fait connaître les effets puissants de la lumière électrique; il venait de faire construire la grande pile de 2.000 couples de la Société royale de Londres; il plaça deux cônes de charbon au-dessus des pôles et les rapprocha suffisamment pour opérer la décharge. Il obtint un arc dont la lumière était comparable à celle du soleil. Le manque de persistance des courants que procuraient les piles dont on disposait alors et la combustion des cônes de charbon rendaient cette lumière de courte durée; bientôt même la tension du courant était insuffisante pour opérer la décharge, et les charbons demeuraient incandescents. La pile de Grove, modifiée par Bunsen, remédia au premier inconvénient, et on corrigea le second en faisant avancer les charbons à la main. M. Léon Foucault fit, en 1843, d'importantes applications de l'expérience de Davy à toutes les recherches d'optique où l'on a besoin d'une lumière intense; il trouva, avec M. Bizeau, que l'éclat de l'arc voltaïque est à celui du soleil dans le rapport de 1 à 3 et que son intensité dépend surtout de celle de la pile. Quarante-huit éléments de Bunsen et des charbons distants de 0^m.007, produisent une lumière dont l'intensité équivaut à 372 bougies concentrées en un point. On a ensuite créé les appareils appelés *RÉGULATEURS ÉLECTRIQUES* ou *lampes photo-électriques*, pour maintenir les charbons à une distance invariable. L'installation de ces instruments est telle, que la position des charbons est réglée par le courant même de la pile qui produit la lumière. Après avoir tenté de se servir d'un mécanisme indépendant, capable de rapprocher les pôles avec une vitesse uniforme en rapport avec l'usure des charbons, on eut recours à un système dans lequel le rapprochement des charbons dépendait des variations de distance des deux pôles. Plus tard, on construisit les appareils à rapprochement et à recul, aisément manœuvrés à distance, et qui écartent automatiquement les

charbons dès qu'ils se touchent. C'est de cette façon qu'était établi le régulateur de M. Serrin, expérimenté au Conservatoire des Arts et Métiers, à la Sorbonne, au collège Chaptal, et pendant un mois à l'établissement des phares. Cet appareil, qui fonctionnait bien, ne laissait pas toutefois, même en dehors de son prix de revient, que de donner prise à de graves objections relativement à l'emploi de l'électricité comme source de lumière.

Une nouvelle machine électro-magnétique à éclairage, de M. J. Vanmalderen, appelée maintenant *machine de l'Alliance*, fut achetée par l'administration des phares, et fonctionna pendant six semaines sans interruption à l'établissement du quai de Billy. La lumière qu'elle donnait était égale à 125 becs Carcel, chaque bec représentant 8 bougies. La dépense en coke de la locomobile était évaluée à 18 centimes par heure.

A cette époque on calculait comme suit le prix du revient par heure, pour les divers modes d'éclairage, à intensité égale, 350 bougies, par exemple, sans y comprendre la main-d'œuvre :

Lumière électrique fournie par la machine	fr.
de M. Vanmalderen	0,003
Gaz de houille à 15 centimes le mètre cube	0,800
Gaz au prix de vente aux particuliers	1,600
Huile de colza épurée	3,030
Lumière électrique des piles	3,000

On a installé en 1851, au-dessus de la porte d'entrée du Palais-Royal, une lampe électrique alimentée par une machine à vapeur de trois chevaux; elle remplaçait tous les becs de gaz de la place. Aucune intermittence ne s'est produite dans la marche de cette lampe, dont les charbons fonctionnaient seuls, sans exiger le secours de la main.

Des études furent entreprises depuis cette époque par l'administration municipale, en vue d'apprécier les avantages que le nouveau système pourrait offrir dans ses applications à l'éclairage public. On appliqua cette nouvelle ressource à l'éclairage des chantiers de construction du grand hôtel du Louvre de la rue de Rivoli, ainsi que de ceux de l'Exposition universelle de 1857.

Depuis, la question de l'éclairage électrique a fait d'immenses progrès. Ce mode d'éclairage est employé aujourd'hui couramment pour les phares, dans les rues, les théâtres, les usines, les grandes gares de chemins de fer, les navires, etc. On fait des essais pour son application à l'éclairage des trains. En 1851, on a cherché à se rendre compte de l'influence de la lumière électrique sur le développement des plantes. Citons encore les applications à la guerre. Enfin il est probable que, dans un avenir plus ou moins éloigné, l'éclairage domestique par l'électricité entrera dans le domaine de la réalité.

Chacune de ces applications exige des appareils

appropriés. Or, aujourd'hui, on peut classer ces appareils en deux grandes catégories : les *appareils à arc voltaïque*, les *lampes à incandescence*. La première de ces deux catégories d'appareils comprend les *régulateurs*, les *BOUGIES*, la *LAMPE-SOLEIL* ; la deuxième comprend les *lampes à incandescence à air libre* et les *lampes à incandescence dans le vide* ou dans une *atmosphère confinée*. L'électricité est en général fournie par des *MACHINES ÉLECTRIQUES*.

Éclairage des phares. — C'est en 1863 que la lumière électrique fut pour la première fois appliquée à l'éclairage des phares (phare de la Hève, près du Havre) ; l'électricité était fournie par une machine de l'Alliance. A la suite de ces essais, qui ont réussi, les applications se sont multipliées, et toutes les nations transformant au fur et à mesure les anciens phares éclairés par des lampes à huile en phares électriques.

Les machines électriques les plus employées maintenant pour cet usage sont celles de M. Méritens ; les lampes sont des régulateurs Serrin.

Les phares actuellement éclairés par l'arc voltaïque (1866) sur les côtes de France sont ceux de Dunkerque, Calais, Gris-Nez, la Canche, la Hève, les Balénes et la Palmyre ; un grand nombre d'autres phares de premier ordre, éclairés à l'huile minérale, doivent être transformés en phares électriques.

Dans une étude récente sur ce sujet (février 1886), M. Lucas, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées nous apprend que l'on emploie en tout 4 chevaux-vapeur pour produire 450 becs Carcel, en sorte qu'on obtient 112 becs par cheval-vapeur ; comme le courant électrique est de 55 ampères et la résistance de l'arc 0,43 ohm, la tension entre les deux pointes de charbon est de 23,65 volts et l'énergie électrique est de 4.300 watts ; il en résulte que, sur les 4 chevaux employés, l'arc voltaïque n'absorbe que 4,76 cheval ; le reste est consacré à la transmission par courroies à la rotation de la machine magnéto-électrique, à l'énergie intérieure de cette machine et à l'énergie extérieure correspondant au transport de la machine à l'arc.

En résumé, l'arc voltaïque présente, comparativement aux lampes à huile minérale, deux avantages de premier ordre pour l'éclairage des phares, savoir : la puissance lumineuse et la diminution de prix de l'unité de lumière. Mais malheureusement on peut lui adresser quelques critiques dont la principale concerne l'instabilité capricieuse de sa lumière.

Comme c'est l'incandescence et non la combustion ou le transport des particules de charbon d'un pôle à l'autre qui constitue la vraie cause de la lumière, ne peut-on pas demander à l'incandescence dans le vide de fournir un foyer aussi puissant que l'arc voltaïque ? dit M. Lucas. Il lui paraît que c'est dans cette voie qu'il convient de rechercher la future solution de l'éclairage électrique des phares.

Comme la présence d'une faible quantité de gaz dans une lampe à incandescence a pour résultat la destruction plus ou moins prochaine de la lampe, il en résulte que, pour donner à un grand foyer d'incandescence des conditions sérieuses de durée, il faut s'affranchir de la dangereuse influence des gaz, même les plus raréfiés. M. Lucas a reconnu que cette difficulté peut se résoudre en recourant à l'emploi d'appareils absorbants. Mais nous ajouterons qu'une autre difficulté, dont on triomphera moins facilement, est la suivante : pour donner à une lampe à incandescence un éclat comparable à celui d'un arc voltaïque, il faut faire passer dans le charbon un courant d'une intensité considérable, capable de porter ce charbon

à une température voisine de 5000° (expériences de M. Rosetti). A cette température la volatilisation du charbon est si rapide que la lampe n'aurait qu'une durée de quelques instants. On doit donc penser qu'on n'obtiendra une lampe à incandescence aussi puissante qu'un arc voltaïque que lorsqu'on aura découvert une substance non volatile à la température qui lui donne l'éclat de l'arc.

Éclairage des rues. — En fait d'éclairage public à l'électricité on ne pouvait citer, en 1885, qu'une seule ville en Europe où le problème est été abordé dans toute sa généralité. A Temeswar (Hongrie) une Compagnie a traité avec la municipalité pour remplacer par des lampes à incandescence les becs de gaz et les lanternes à pétrole jusqu'alors employés dans les rues. On a créé une usine et un réseau de conducteurs aériens, le système fonctionne depuis le début de l'année 1885.

En France on a, à Bellegarde, et depuis peu (début de 1886) à la Roche-sur-Foron, des éclairages électriques des rues au moyen de lampes à incandescence.

A Paris, on a essayé d'éclairer les boulevards et certaines avenues (avenue de l'Opéra) au moyen des bougies Jablockhoff ; mais on y a renoncé en raison du prix de revient trop élevé à l'époque où les essais ont été faits. La place du Carrousel est encore éclairée à l'aide de lampes à arc (régulateurs Mersanne et machines Lontin). Enfin le parc Monceaux et le square des Batilles-Chamont sont éclairés par des bougies Jablockhoff. Ce matériel a été acheté par la Ville, qui dirige l'exploitation à ses risques et périls.

En Angleterre les applications se multiplient, et en Allemagne les installations de lumière électrique commencent, en 1885, à devenir assez nombreuses pour que la compagnie du gaz de Munich s'en soit émue. Le rapport fait à cette occasion en 1885 par le docteur Schilling donne une nomenclature assurément impartiale des installations qui fonctionnaient à cette époque ; et il résume ainsi son rapport : Le nombre actuel des installations d'éclairage électrique dans les villes d'Allemagne, à l'exclusion des établissements isolés qui ne se trouvent pas près d'usines à gaz, est d'environ 400 avec un ensemble de 1.500 lampes à arc et largement 20.000 lampes à incandescence.

En Amérique, le développement de l'éclairage des rues est très grand ; les lampes sont en général des régulateurs Brush et Weston, alimentés par des machines des mêmes inventeurs.

Éclairage des théâtres et des grands magasins. — La lumière électrique peut être considérée comme résolvant le mieux le problème de l'éclairage des grands espaces ; aussi ne faut-il pas s'étonner de voir de nombreuses applications de ce mode d'éclairage dans les théâtres et les grands magasins, où l'emploi du gaz a le double inconvénient d'élever considérablement la température, tout en donnant une lumière insuffisante, de multiplier les chances d'incendie, de vicier l'air, de détériorer les peintures et de ne pas permettre l'appréciation exacte de certaines couleurs.

Si tout le monde paraît d'accord sur la nécessité de remplacer dans les théâtres l'éclairage au gaz par l'éclairage électrique, on hésite encore sur l'ensemble des dispositions à adopter pour l'utilisation du courant fourni par la machine dynamo. Les uns pensent qu'il est préférable d'alimenter directement les lampes au moyen de MACHINES, comme cela se pratique à l'Opéra, par exemple, et de ne confier aux ACCUMULATEURS que le service des lampes de sûreté ; d'autres pensent, au contraire, qu'il convient de faire une

large application des accumulateurs, de manière à réduire la puissance du moteur et de la machine dynamo. C'est ce dernier système qui a prévalu à Vienne (Autriche), où la Compagnie continentale du Gaz est chargée de l'établissement de l'électricité dans les théâtres impériaux, et à Londres, où une installation de ce genre fonctionne, depuis 1885, au théâtre du Prince de Galles.

Parmi les applications faites à Paris, il convient de citer : l'éclairage électrique de l'Opéra; celui de l'Hippodrome, vaste espace de forme elliptique qui mesure 165 mètres de long sur 70 mètres de large; celui de l'Eldorado, qui est exclusivement fait par des lampes à arc, tandis que dans les autres théâtres on emploie simultanément les régulateurs et les lampes à incandescence. Voici quelques notes intéressantes sur ces diverses installations. Nous y ajouterons quelques détails sur l'éclairage électrique des grands magasins du Printemps, qui passe, avec raison, pour être très bien conçu.

Éclairage de l'Opéra. — L'éclairage électrique par lampes à incandescence Edison a été installé à titre d'essai dans certaines parties de l'Opéra de Paris. Après une expérience de cinq mois, on a résolu d'appliquer le système d'une façon générale, et un traité a été passé à cet effet le 28 mai 1885 avec la Société Edison.

Voici, d'après le rapport de M. Joussetin, la description de l'installation telle qu'elle a été réalisée.

Les appareils d'éclairage sont au nombre de 1.713, savoir : 1.061 lampes à incandescence Edison de 16 bougies chacune; 620 lampes à incandescence Edison de 10 bougies chacune; 42 lampes à incandescence Edison de 32 bougies chacune; 42 bougies Jabluchkoff de 40 carrels; 8 lampes à arc, système Pieper, de 80 carrels.

Les machines à vapeur et les chaudières sont installées dans le sous-sol. Les premières consistent en une machine à vapeur horizontale à deux cylindres, système Corliss, de 300 chevaux de force, pour le service courant, et en une machine de secours, système Armington de 100 chevaux marchant à une vitesse de 300 tours.

Il y a trois générateurs de vapeur, du système Belleville, donnant chacun 300 chevaux, soit en tout 600 chevaux de force.

Le service normal est assuré par :

Une machine dynamo-électrique de 1.200 lampes, faisant 360 tours et donnant un courant de 900 ampères;

Quatre machines dynamo-électriques de 500 lampes, faisant 770 tours et donnant un courant de 380 ampères;

Une machine Gramme pour foyers Jabluchkoff, faisant 670 tours et donnant un courant de 32 ampères.

Le service de secours est assuré par deux machines dynamo-électriques de 400 lampes, marchant à 800 tours et débitant 300 ampères.

La différence de POTENTIEL aux bornes des machines doit être, pour les machines Edison de 118 volts, et pour les machines Gramme de 280 volts.

Les courants électriques fournis par les machines passent par un tableau de distribution placé à proximité de ces machines, et de ce tableau partent trois séries de câbles desservant respectivement, à l'aide de branchements :

1^o Les appareils d'éclairage de la salle, des rampes, des lustres, des girandoles, et aboutissant au jeu d'orgue;

2^o Les appareils d'éclairage du foyer, de l'avant-foyer, de la loggia et du grand escalier;

3^o Les appareils Jabluchkoff des candélabres et de la façade.

La section des différents câbles et conducteurs est calculée de manière que l'intensité du courant qui les traverse ne dépasse pas 2,50 ampères par millimètre carré de section.

Le développement total du réseau de distribution est de 3.625 mètres.

Il résulte des expériences photométriques faites à l'instigation de la Société Edison, à Ivry, que la lumière fournie par l'ensemble des appareils ci-dessus énumérés est de 2.561 carrels. Si on compare cette puissance lumineuse à celle fournie par les appareils à gaz supprimés, on arrive aux résultats suivants. On a eu :

Au foyer	576	becs de gaz brûlant 120 litres à l'heure, soit 69.120 litres.		
Dans l'escalier	40	—	200	—
Dans l'avant-foyer	422	—	120	—
Dans la loggia	80	—	200	—
Dans la loggia	176	—	140	—
A l'entrée	48	—	140	—
Au lustre	539	—	140	—
A la rampe	120	—	200	—
Dans les girandoles	144	—	120	—
Dans différents lustres	112	—	200	—
Soit au total	2.227	becs de gaz brûlant ensemble		304.780 litres.

Ce qui, à raison de 106 litres par heure (consommation équivalente à la lumière fournie par un bec carcel), correspond à un éclairage de 2.875, 30 carrels.

Il résulte donc des expériences faites par la commission chargée des essais photométriques que la valeur nominale des lampes à incandescence est de 2.875,30 — 2.664 = 214 carrels inférieure à l'éclairage au gaz; mais comme la valeur réelle de ces lampes est supérieure de 1/3 au moins à leur valeur nominale, la lumière fournie réellement par les appareils électriques est au minimum de 2.661 + 665, soit 3.323 carrels, ce

qui donne en faveur de cet éclairage, comparativement à celui du gaz, un gain de 3.326 — 2.875 ou 451 carrels.

Si on ajoute à ce dernier chiffre celui de 1.120 carrels représentant la puissance lumineuse des lampes à arc, non comprise dans le calcul précédent, on arrive à un excès total de 1.120 + 451 = 1.571 carrels.

Le nouvel éclairage est ainsi supérieur d'au moins moitié à l'éclairage ancien. Pendant les cinq mois d'essai, le système a fonctionné avec la plus grande régularité; aussi n'a-t-on pas hésité à l'adopter à titre définitif.

On a pensé, avec raison, que la lumière électrique pouvait être substituée à celle du gaz aussi bien sur la scène que dans les couloirs et dans les loges. La préfecture de police a même autorisé le remplacement, à titre d'essai, des lampes de secours (à l'huile) par des lampes électriques actionnées par quatre batteries d'accumulateurs installées à deux étages différents du théâtre. Chacune de ces batteries décrit 3 ou 4 étages par disposition alternée sur les circuits.

On projette de compléter cette première installation, et le projet définitif comprend 6.126 lampes à incandescence, dont 5.018 de 10 bougies et 1.108 de 16 bougies. Ces 6.126 lampes remplaceront 7.570 becs de gaz.

Éclairage de l'Hippodrome. — L'éclairage électrique de l'Hippodrome de Paris mérite d'être cité, parce qu'il s'agissait de projeter une vive lumière sur un espace considérable sans encombrer l'arène de mâts ou de supports quelconques et que le problème a été très heureusement résolu, ensuite parce que l'installation date de l'année 1877 et qu'elle n'a cessé de fonctionner régulièrement depuis cette époque. Voici une description sommaire des appareils, lampes, machines, etc., existant en 1897.

Les appareils sont au nombre total de 4.236, savoir :

18 régulateurs Serrin modifiés par Suisse;
433 bougies Jablochkoff;

1.085 lampes à incandescence, système Swan.

Les régulateurs, installés dans la charpente, à 20 mètres au-dessus du sol, projettent leur lumière sur la piste; les bougies Jablochkoff éclairent la partie du théâtre réservée aux spectateurs; elles sont placées à une hauteur suffisante pour ne pas blesser les yeux, et leur éclat est atténué par des globes d'opale de 0^m,50 de diamètre; enfin les lampes à incandescence servent à l'éclairage des espaces restreints, tels que les buffets, le bar, les scieries, etc.

Les régulateurs brûlent des charbons de 0^m,0135 de diamètre et sont munis de réflecteurs argentés paraboliques et hyperboliques; les bougies Jablochkoff ont des charbons de 0^m,004 de diamètre; on ne les a pas munies de commutateurs automatiques dans la crainte des extinctions; les changements se font de l'extérieur de la salle au moyen de commutateurs à main placés dans les couloirs ou sur la toiture. Les lampes à incandescence ont une puissance de 8 bougies et fonctionnent avec un courant de 50 volts et de 0,76 ampère. Les unes, alimentées par des machines Edison, sont placées en dérivation sur deux câbles parallèles; les autres, alimentées par une machine Gramme à courants alternatifs, sont montées par séries de 4 en tension. La durée de ces lampes a été, en moyenne, de 1.000 heures.

Conducteurs. — Les câbles qui amènent le courant dans les bougies Jablochkoff sont formés de 7 fils de 0^m,009; leur montage ne présente aucune particularité; quant aux régulateurs, il a suffi d'un seul fil, parce qu'on a utilisé la charpente métallique comme fil de retour; on a pu ainsi réaliser une économie assez importante.

La même disposition a été prise pour les lampes à incandescence; mais, par mesure de précaution, on a établi pour chaque circuit un fil de retour local, relié à la charpente de l'édifice, du côté opposé à celui où arrive le courant, de façon que toutes les lampes aient la même intensité dans toutes les parties de l'installation. Enfin dans le montage des différents appareils, on a eu soin d'alterner les circuits, de manière qu'en cas d'arrêt de l'un des moteurs aucune partie ne se trouve dans l'obscurité.

Force motrice. — La force motrice est fournie par

deux machines à vapeur compound de 100 chevaux, alimentées par trois chaudières à foyer amovible.

Machines électriques. — Les générateurs d'électricité sont au nombre de 33, savoir :

24 machines Gramme du type normal à courant continu; 7 machines Gramme, du type G, à courants alternatifs de 20 bougies; 2 machines Edison donnant un courant de 110 volts et 150 ampères. Toutes ces dynamos sont mues par des courroies en coton qui ont moins de tendance à se gondoler que les courroies en cuir.

Dépense. — La dépense moyenne par soirée est de 227 fr. 35 (non compris l'amortissement des frais de premier établissement), se décomposant comme suit :

	fr. c.
Bougies Jablochkoff.....	38 20
Charbons Lévy.....	5 25
Lampes Swan.....	8 75
Houille.....	43 70
Graissage des machines.....	49 40
Entretien et divers.....	33 50
Eau.....	10 70
Personnel.....	87 85

Total égal..... 227 35

En faisant la répartition de cette dépense sur les appareils d'éclairage de divers genres, on trouve que la dépense horaire est de 1 fr. 12 pour un régulateur à arc, de 0 fr. 30 pour une bougie Jablochkoff et de 0 fr. 03 pour une lampe à incandescence Swan de 8 bougies.

En considérant l'ensemble de l'éclairage, on voit que le prix moyen d'un carcel-heure est de 0 fr. 013; ce chiffre est inférieur à celui que donnerait l'éclairage au gaz. On a cependant conservé ce dernier mode d'éclairage pour les bureaux, les loges, les ateliers, etc.; et la dépense totale est dès lors de 331 fr. 35 (dont 227 fr. 35 pour l'électricité et 103 fr. 90 pour le gaz). C'est un chiffre relativement peu élevé, étant donné l'importance de la surface éclairée et le peu de durée de la période d'éclairage.

Éclairage de l'Eldorado. — L'éclairage électrique du théâtre de l'Eldorado à Paris présente cette particularité qu'il a été entièrement réalisé à l'aide de régulateurs Cance. Jusqu'alors on avait toujours jugé nécessaire de placer sur la rampe de la scène un grand nombre de foyers de faible intensité également espacés; on remplaçait donc les becs de gaz par des lampes à incandescence de même intensité. A l'Eldorado, au contraire, on a substitué aux 40 becs de gaz de la rampe 6 régulateurs Cance de 45 carrels chacun. Afin d'obtenir une lumière diffuse et d'éviter que l'éclat de ces foyers lumineux ne gêne les acteurs, on a placé ces 6 régulateurs au-dessous du plancher de la scène dans une auge rectangulaire courant tout le long de la rampe; les prois et le fond de cette auge sont peints en blanc mat et renvoient vers le haut les rayons lumineux; la paroi antérieure est munie à sa partie supérieure d'un réflecteur concave en métal blanc disposé sur toute la longueur, qui renvoie les rayons lumineux sur la scène au niveau du plancher.

Il s'est présenté encore une autre difficulté: pendant les représentations on est quelquefois obligé de produire des effets d'obscurité. Avec le gaz ou les lampes à incandescence il suffit de diminuer l'intensité des foyers, mais on sait qu'il est impossible d'agir ainsi avec les régulateurs. On a donc installé deux séries parallèles de rouleaux articulés entre eux par

des joints à la Cardan, pouvant ainsi décrire la même courbe que la rampe et se commandant mutuellement. L'une des séries est placée au bord de l'auge qui contient les régulateurs, du côté de la scène, l'autre est placée au sommet du réflecteur. Ces rouleaux sont réunis par un rideau de toile qui recouvre obliquement l'ouverture de la rampe et qui, lorsqu'il s'enroule sur une des séries de rouleaux se déroule sur l'autre et réciproquement. En employant des toiles d'opacité et de teintes différentes on a pu obtenir tous les effets d'obscurité ou de coloration désirables.

L'installation comprend en tout 37 régulateurs Cance, dont 35 pouvant fonctionner simultanément; les deux autres sont alimentés suivant les besoins par les circuits de la salle ou de la scène.

Les 35 régulateurs en service régulier sont réunis en quantité par groupes de 5, et chaque groupe est alimenté par une dynamo spéciale. Il y a donc 7 machines dynamo-électriques Gramme du type de 5 chevaux avec inducteurs en dérivation, et une huitième machine de réserve. Chacune d'elles donne un courant de 40 ampères et de 70 volts aux bornes.

L'effet obtenu est entièrement satisfaisant, la lumière présente une grande fixité.

M. Cance a construit un INDICATEUR DE MARCHÉ qui permet de s'assurer à chaque instant que le courant passe dans chacun des circuits et de mesurer pratiquement l'intensité de ce courant dans toutes les lampes.

Sur chaque circuit est un RHÉOSTAT RÉGULATEUR, qui a pour objet de ramener toutes les dérivations d'une machine donnée exactement à la même résistance, afin que les lampes fonctionnent de la même façon et reçoivent un courant de même intensité.

Enfin, sur chaque circuit de lampe est placé un COUPE-CIRCUIT qui interrompt le passage des courants dès qu'une élévation dangereuse de température se produit dans ce circuit, ce qui arriverait si, par exemple, les deux fils étaient mis accidentellement en contact.

Tous ces appareils, indicateurs de marche, rhéostats régulateurs, coupe-circuits, sont groupés sur un même tableau de distribution placé dans la salle des machines et auquel aboutissent tous les fils conducteurs. Des commutateurs divers permettent d'éteindre ou d'allumer une quelconque des lampes de l'installation, d'autres ont pour objet de substituer la machine dynamo de réserve à une quelconque des machines en service; des VORMÉTRÉS et des AMPÈMÈTRÉS système Carpentier complètent le tableau de distribution. Grâce à tous ces appareils, l'agent chargé de l'éclairage peut, sans quitter la salle des machines, se rendre compte du fonctionnement des lampes, et faire toutes les commutations possibles.

RÈGLEMENTS RELATIFS À L'ÉCLAIRAGE DES THÉÂTRES.
— Dans le ressort de la Préfecture de police (département de la Seine, et communes de Saint-Cloud, Sèvres, Mondon et Enghien), l'emploi de la lumière électrique dans les théâtres, cafés-concerts, et autres spectacles publics, est réglé par ordonnance du 21 février 1887, reproduite ci-après.

Formalités préliminaires.

Art. 1^{er}. — Toute personne voulant installer la lumière électrique dans un théâtre, café-concert, ou autre lieu public soumis à notre autorisation, est tenue d'en faire la déclaration à la Préfecture de police.

Il sera joint à l'appui de la demande :

1° Un plan détaillé, en triple exemplaire, indiquant : l'emplacement des générateurs, des machines à vapeur, à gaz ou à air, des machines dynamo-électriques,

des piles, des accumulateurs, et le tracé des conducteurs;

2° Une note explicative sur les machines motrices, leur force en chevaux-vapeur, sur les machines dynamo-électriques et sur les lampes à arc ou à incandescence, leur nombre et leur pouvoir éclairant;

3° Un échantillon de chacun des fils ou câbles employés pour cet éclairage (3 mètres au moins).

Art. 2. — Les travaux ne pourront être commencés qu'après que l'Administration aura fait notifier au déclarant s'il y a ou non des modifications à introduire dans l'exécution des plans et projets déposés.

Art. 3. — La mise en usage de l'éclairage électrique ne pourra avoir lieu qu'après avis favorable de la Commission supérieure des théâtres, devant laquelle un éclairage d'essai sera préalablement fait.

Art. 4. — Après réception des appareils, aucune modification ne pourra être apportée à l'installation sans l'accomplissement des mêmes formalités.

Chaudières, machines et conduits de fumée.

Art. 5. — Les machines à vapeur, les machines à gaz ou les machines à air actionnant les machines dynamo-électriques, et les foyers des machines à vapeur, ne pourront être placés dans les parties du local accessibles au public et aux artistes.

Art. 6. — Les foyers des chaudières à vapeur et le combustible destiné à leur alimentation devront être placés dans des locaux distincts construits en matériaux complètement incombustibles, avec portes en fer, et séparés des autres dépendances de l'établissement par des murs en maçonnerie ainsi que par des voiles ou des planchers en fer, hourdés de briques, d'épaisseur suffisante.

Ces locaux seront convenablement ventilés, soit naturellement par des prises d'air débouchant hors des voies publiques, ou par des courtoies suffisamment isolées des dépendances de l'établissement, soit par des moyens mécaniques, de telle sorte que la température ambiante ne dépasse jamais 40°.

Art. 7. — On se conformera, pour l'installation des chaudières à vapeur, aux règlements d'administration publique en vigueur.

Art. 8. — Les conduits de fumée seront en briques d'une épaisseur et d'une section suffisantes pour l'importance des foyers qu'ils desservent. Ils seront toujours montés à 5 mètres en contre-haut des souches des cheminées voisines dans un rayon de 200 mètres.

Ces conduits de fumée devront être placés à l'extérieur des bâtiments, dans les cours ou courtoies, à moins de dispositions particulières spécialement autorisées, après avis de la Commission supérieure des théâtres.

Piles, accumulateurs et machines dynamo-électriques.

Art. 9. — Les piles électriques, les accumulateurs, seront installés dans un local spécial bien ventilé et, dans le cas d'émission de vapeurs nuisibles, placés sous des hottes avec des cheminées d'appel entraînant les gaz et les vapeurs au-dessus des toits. Les acides et autres produits chimiques destinés à leur entretien seront enfermés sous clef et ne devront jamais rester à la disposition du personnel de l'établissement.

Art. 10. — Les machines dynamo-électriques seront placées dans un endroit sec, ne contenant aucune matière facilement inflammable. Elles seront montées sur un massif isolant et entourées d'une plate-forme

tenue dans un état de propreté suffisant pour éviter tout accident aux personnes chargées du service de la surveillance.

Le service sera fait par des surveillants et des ouvriers expérimentés. Les précautions à prendre en vue de la sécurité seront inscrites sur un tableau affiché en vue des ouvriers.

Câbles et fils conducteurs.

Art. 11. — Tous les conducteurs, dans la chambre des machines, seront solidement supportés, convenablement arrangés pour la surveillance, marqués et numérotés.

Art. 12. — Les commutateurs employés pour diriger le courant seront construits de manière que, dans une position quelconque, il ne puisse se produire d'arc permanent ni d'échauffement dangereux; leur support sera en ardoise, calcaire ou toute autre matière incombustible.

Art. 13. — Le tableau qui portera les aiguilles et commutateurs sera muni d'un voltmètre et d'un ampèremètre par circuit, et, s'il y a lieu, de rhéostats réguliers.

Art. 14. — On disposera, en connexion sur les deux branches avec le conducteur principal, des fusées de sûreté faites d'un métal aisément fusible, et qui fondront si le courant vient à atteindre une force trop considérable.

Tous les passages d'un fil fort à un fil faible seront protégés par l'emploi de deux fusées de sûreté qui, dans tous les cas, ne devront laisser passer que la quantité d'ampères pour lesquels les fils des circuits ont été calculés. Ces coupe-circuits seront établis de manière à être parfaitement à l'abri de toute humidité.

Art. 15. — Chaque partie du circuit sera calculée pour que le diamètre des fils employés soit bien proportionné au courant qui devra le traverser. L'intensité du courant ne devra pas dépasser 2 ampères par millimètre carré de section.

Art. 16. — La force électromotrice maximum des courants alternatifs ne pourra dépasser 420 volts. Pour les courants continus, la différence de potentiel ne devra pas dépasser 300 volts aux bornes des machines ou à l'entrée du théâtre si la source d'électricité est extérieure.

Art. 17. — Lorsque la source d'électricité viendra du dehors, les deux câbles conducteurs seront pourvus d'une aiguille de dérivation, qui permettra d'interrompre automatiquement l'entrée des courants supérieurs à 300 volts, ainsi que d'un voltmètre et d'un ampèremètre. Ces appareils seront placés aussi près que possible de l'ouverture par laquelle les câbles pénétreraient dans l'établissement.

Art. 18. — On n'emploiera que des circuits métalliques complets; l'emploi des conduites d'eau et de gaz et des parties métalliques de la construction pour compléter le circuit est interdit.

Art. 19. — Les fils seront recouverts d'une matière isolante et l'isolement des conducteurs atteindra 300 mégohms par kilomètre.

Art. 20. — Tous les fils et câbles seront solidement fixés et constamment maintenus séparés les uns des autres à 0^m,10 au moins pour les lumières à incandescence et à 0^m,020 pour les lumières à arc. L'espace entre les fils et les pièces métalliques de la construction sera de 0^m,060, au moins que le câble ne soit placé sous plomb.

Art. 21. — Quand les fils conducteurs reposeront sur des supports isolés ou traverseront des planchers, paliers, murs ou cloisons, ou quand ils se croiseront, ils devront être protégés par une seconde enveloppe de métal autre que le plomb.

Art. 22. — Tous les fils qui seraient à la portée de la main du public ou du personnel de l'établissement seront placés sous des moulures en bois facilement reconnaissables.

Art. 23. — Si la source d'électricité est en dehors de l'établissement, l'électricité ne pourra y être introduite que par une seule ouverture.

Lampes.

Art. 24. — Les lumières nues sont prohibées.

Art. 25. — Les lumières à arc seront protégées par des globes de verre fermés à la partie inférieure et surmontés d'une cheminée avec grille pour arrêter les étincelles et les particules de carbone incandescent.

Art. 26. — Toutes les parties des lampes susceptibles d'être touchées avec la main seront isolées du courant.

Les globes et les enveloppes en verre seront entourés d'un grillage métallique, si leurs fragments peuvent être projetés sur le public ou le personnel du théâtre.

Art. 27. — Les câbles de suspension de lampe seront incombustibles et indépendants des fils conducteurs, lesdits fils ne pouvant, dans aucun cas, servir de suspension aux lampes.

Éclairage des magasins du Printemps, à Paris.
— L'installation de la lumière électrique dans les magasins du Printemps, à Paris, peut être prise pour modèle; elle comprend :

240 bougies Jablotchhoff à charbon de 0^m,004;

48 — — — — — 0^m,006;

4 régulateurs à arc;

300 lampes à incandescence, système Girard, de 2 carcels chacune.

Les 240 bougies de 0^m,004 (dont 20 sont employées pour le service de jour dans les sous-sols et les réserves) sont réparties sur 12 circuits comprenant chacun en dérivation 4 groupes de 5 foyers en série.

Le courant électrique est fourni par 17 machines Gramme auto-excitatrices de 20 bougies, auxquelles il faut ajouter 1 machine pour le service de jour et 4 machines de rechange.

Ces machines électriques sont actionnées par 3 machines à vapeur de 100 chevaux et 1 machine de 20 chevaux affectées spécialement au service de jour. La vapeur est fournie par 3 chaudières Belleville.

Un tableau spécial muni de commutateurs reçoit, d'une part, tous les circuits des dynamos, d'autre part tous les circuits des foyers, de sorte que ces derniers peuvent être alimentés par l'une quelconque des machines. Enfin, pour éviter une extinction totale, dans le cas d'avarie à l'une des machines, les foyers situés dans une même salle sont desservis par des circuits différents.

La durée moyenne de l'éclairage de jour est de neuf heures, celle de l'éclairage de nuit de cinq heures, et on compte trois cents jours de travail par année. La bougie de 0^m,004 de diamètre dure une heure et demie, et la bougie-heure revient à 0 fr.425; la bougie de 0^m,006 dure deux heures et la bougie-heure revient à 0 fr.165; les régulateurs dépassent par heure 0 fr.225 de crayons; enfin chaque lampe à

incandescence coûte 0 fr. 01 par heure en tenant compte de son remplacement.
Dans une communication faite à la Société tech-

nique de l'industrie du Gaz en France, M. Ph. Delahaye calcule comme suit le prix de revient annuel de cet éclairage :

FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT.

Moteurs, transmissions, tuyauterie, etc.	200.000 francs.
Courroies.	15.000
Quatre générateurs Belleville	92.000
Appareillage.	95.000
Machines et appareils électriques.	182.000
Fondations et autres travaux.	100.000
Total.	684.000 francs.

Dont l'intérêt et l'amortissement à 10 % représentent une dépense annuelle de . . . 68.400 francs.
Le matériel a coûté 584.000 fr. Son entretien évalué à 5 % de ce dernier chiffre représente 29.200

FORCE MOTRICE.

Une bougie de 0 ^m ,004 exige une force motrice de	0,90 chev.-vapeur.
Une bougie de 0 ^m ,006 exige une force motrice de	1,80 —
Un régulateur à arc exige une force motrice de	2,00 —
Une lampe à incandescence exige une force motrice de	0,17 —
Travail total absorbé par l'éclairage.	490.300 chev.-heures.
Consommation de houille par cheval-heure.	1 ^m ,500
Consommation de houille pour l'année.	735.000 kil.
ce qui à 40 fr. la tonne donne une dépense annuelle de	29.400
Graissage, chiffons et autres dépenses.	9.800

DÉPENSES AFFÉRENTES AUX APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

360.000 bougies-heures de 0 ^m ,004 (service de nuit) à 0 ^r ,125	45.000	} 60.895
54.000 bougies-heures de 0 ^m ,006 (service de jour) à 0 ^r ,125	6.750	
27.000 bougies-heures de 0 ^m ,006 (service de jour) à 0 ^r ,165	4.425	
6.000 régulateurs-heures à 0 ^r ,225	1.350	
334.000 lampes-heures à incandescence à 0 ^r ,01	3.340	

PERSONNEL.

Ouvriers, conducteurs, chauffeurs, etc.	33.600
Dépense totale annuelle.	221.295 francs.

En admettant que l'intensité lumineuse soit de 30 carcels pour les bougies de 0^m,004, de 65 carcels pour les bougies de 0^m,006, de 150 carcels pour les régulateurs à arc, et de 2 carcels pour les lampes à incandescence, on calcule que la lumière fournie aux magasins du Printemps est de 55.480 carcels-heures par jour de service, soit pour trois cents jours de 15.744.000 carcels-heures, et que, pour obtenir la même lumière au moyen du gaz, il faudrait en consommer 2.201.000 mètres cubes, ce qui conduirait à une dépense de 889.376 francs, en comptant le mètre cube à 0 fr. 30 et en évaluant, par mètre cube brûlé, à 0 fr. 094 les frais d'intérêts et d'amortissement de l'installation. Cette dépense serait donc plus de trois fois supérieure à celle résultant de l'emploi de l'électricité; il faut observer aussi que, si on brûlait dans les magasins une aussi grande quantité de gaz, la température serait insupportable.

Éclairage électrique à Angers, chez M. Cottin. — Nous décrivons cette installation comme exemple de ce qu'on peut faire lorsqu'on ne

dispose pas d'un mécanicien pour surveiller le fonctionnement d'une machine à vapeur.

Il s'agissait d'éclairer deux salles d'exposition, des bureaux, un appartement et, enfin, d'une manière particulièrement brillante, la porte d'entrée qui devait attirer l'attention.

On plaça 4 régulateurs Gramme à l'entrée, et 21 lampes à incandescence Woodhouse et Rawson dans les différentes pièces à éclairer. Tous ces appareils furent montés en dérivation pour deux motifs : facilité d'allumage ou d'extinction des appareils ensemble ou séparément; réglage et fonctionnement plus sûrs, l'extinction d'un appareil n'entraînant pas forcément celle de tous les autres. La machine électrique était une Gramme compound du type de 900 francs, actionnée par un moteur à gaz à deux cylindres, système Otto, de 5 chevaux de force. L'arbre de ce moteur tournant à 190 tours, et la machine Gramme demandant une vitesse de 1.435 tours, on monta une transmission intermédiaire. De plus, pour éviter les glissements de la courroie sur la poulie de la machine Gramme, cette poulie a été recouverte

de caoutchouc, ce qui a donné d'excellents résultats.

La Fig. 1 indique l'ensemble de l'installation.

Chaque régulateur L comporte dans son circuit une résistance r, un coupe-circuit à fil de plomb / et un commutateur d'allumage C. Chaque circuit des lampes ou des groupes de lampes à incandescence comporte également un commutateur et un coupe-circuit. Près de

la machine se trouve un tableau sur lequel sont montés : 1° un voltmètre branché en dérivation sur le circuit général, et qui donne des indications lorsqu'on presse un bouton de contact placé en dessous; 2° un ampèremètre parcouru, en temps ordinaire, par le courant total, mais qui, au besoin, peut être isolé au moyen d'un commutateur à double contact sans causer

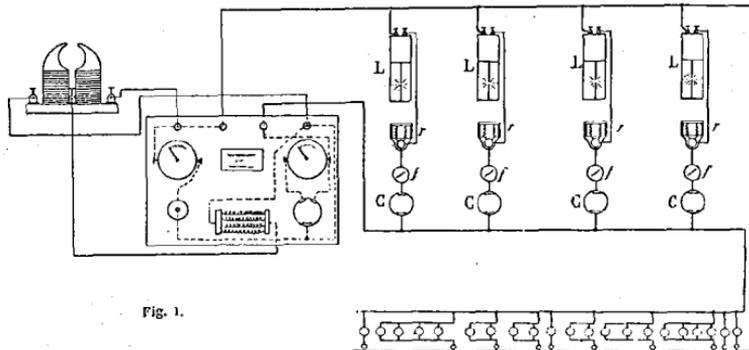


Fig. 1.

d'extinction; 3° une résistance intercalée dans le circuit d'excitation de la machine.

Cette installation fonctionne parfaitement; la lumière des lampes à arc et des lampes à incandescence est fixe. Enfin, comme l'enroulement compound de la machine a été bien calculé, on peut faire marcher soit toutes les lampes, soit une seule sans avoir plus de 2 volts de variation.

Eclairage des monuments publics. — L'éclairage électrique convient aux monuments publics, pour les raisons développées ci-dessus à l'occasion de l'éclairage des théâtres et des grands magasins.

Nous citons à Paris l'éclairage de l'Hôtel de ville, qui fonctionne depuis le 20 octobre 1883.

On y a employé exclusivement des lampes à incandescence d'un pouvoir éclairant moyen de 1,83 carcel.

Le prix par heure et par lampe ressort à 0 fr. 1250. De la comparaison faite avec le coût d'un éclairage à l'huile, ou au gaz de houille donnant la même intensité lumineuse que les lampes électriques, il résulte que pour l'huile la dépense eût été de 0 fr. 13 et pour le gaz de 0 fr. 038 (le prix du mètre cube étant compté à 0 fr. 30).

Eclairage des usines. — Dans les usines, ce mode d'éclairage est d'autant plus avantageux qu'on possède généralement une force motrice disponible et que par suite il devient plus économique que le gaz. Il faut considérer aussi que la lumière électrique permet d'obtenir un rendement des ouvriers et des machines aussi considérable la nuit que le jour.

Le nombre des foyers dépend de la surface des emplacements et du genre de travail à éclairer.

Voici des renseignements pratiques fournis par la Société Gramme pour l'application du genre de lampes à employer suivant la disposition et la surface des ateliers à éclairer, ainsi que pour le calcul de la force motrice nécessaire.

Une lampe à incandescence de 16 bougies éclaire utilement une surface de 8 à 10 mètres carrés et remplace un bec de gaz consommant 140 litres à l'heure.

8 lampes de 16 bougies absorbent 1 cheval force.
19 — de 8 — — — 1 cheval —

En général on compte que 10 bougies valent 1 bec carcel.

INTENSITÉ LUMINEUSE par lampe Gramme.	FORCE NÉCESSAIRE par lampe.	NOMBRE DE MÈTRES SUPERFICIELS ÉCLAIRÉS UTILEMENT PAR LAMPE.		
		Filature, tissage, atelier de précision, etc.	Atelier de mécanique, ajustage, machines-outils, etc.	Atelier de montage, fonderie, chaudronnerie, quai de manutention.
Carrels.	Chevaux.	Mètres carrés.	Mètres carrés.	Mètres carrés.
500	3	150	400	1.000
150	1,5	75	200	500
70	1	40	100	250
30	0,5	20	50	125

Dans un chantier de travaux publics, les lampes de 500 carrels seules doivent être employées, chacune d'elles déservant une surface de 3.000 mètres carrés.

Exemple. Si un atelier de mécanique a 40 mètres de longueur sur 20 mètres de largeur, soit 800 mètres superficiels, il sera bien éclairé avec 2 régulateurs de 500 carrels ou 4 de 150 carrels ou encore 8 de 70 carrels ou enfin 16 de 30 carrels.

Si les locaux à éclairer sont bas et renferment beaucoup d'obstacles (colonnes, courroies, outils très élevés) et de plus ont des parois sombres, il vaut mieux multiplier le nombre des foyers de moyenne ou de faible intensité. Les foyers puissants conviennent surtout aux grands espaces découverts, quais, chantiers, etc.

Trois éléments interviennent dans le calcul du coût horaire :

- 1° Intérêt et amortissement du matériel;
- 2° Coût de la force motrice;
- 3° Consommation de crayons électriques.

Le premier de ces éléments est commun à tous les éclairages (huile, gaz, électricité). Mais il a une valeur plus grande dans l'éclairage électrique et influera d'autant plus sur le prix de revient par foyer et par heure que la durée cumulée de l'éclairage est plus faible. Les industriels sont en mesure de déterminer eux-mêmes le second, dont la valeur varie de 0 fr. 65 à 0 fr. 10 par cheval; quant au troisième, il varie de 0 fr. 08 à 0 fr. 16 par lampe et par heure, suivant l'intensité du foyer.

Pour l'incandescence, comme les lampes durent en moyenne un millier d'heures et coûtent 5 francs l'une, la consommation de lampes revient à 1/2 centime par lampe et par heure.

Eclairage des grandes gares de chemins de fer. — Dans les grandes gares de chemins de fer, l'éclairage électrique permet, pour une dépense égale comparativement au gaz, de rendre plus facile la manutention des colis, d'éviter ainsi les erreurs et enfin de diminuer le prix de revient de cette manutention en augmentant le travail individuel des agents qui en sont chargés.

Comme exemple d'éclairage des grandes gares de chemins de fer, nous citerons l'éclairage de la gare de Strasbourg (*Alsace*), qui se fait par 1.400 lampes à incandescence et 60 lampes à arc, actionnées par 18 machines dynamo-électriques absorbant la force de 6 machines à vapeur de 22 chevaux chacune. Les frais d'éclairage, d'entretien, d'intérêt et d'amortissement du capital de premier établissement (qui est de 365.952 fr. 50) s'élevaient par année à 41.128 fr. 75. Pour obtenir le même éclairage au moyen du gaz (payé à 0 fr. 20 le mètre cube), on dépenserait, en y comprenant également les intérêts et l'amortissement du capital de premier établissement (165.025 fr.), 70.801 fr. 65; il y a donc une économie de 1/3 environ.

Il résulte des nombreux exemples que l'on pourrait citer que l'éclairage électrique n'est économique qu'autant qu'on l'applique sur une grande échelle, et que l'on peut répartir les frais d'intérêts et d'amortissement du capital de première installation, frais qui sont considérables, sur un grand nombre d'heures d'éclairage. On arrive à des conclusions contraires dans le cas d'un éclairage au gaz, parce que les frais d'installation sont moindres; mais, par contre, le coût du gaz augmente proportionnellement au nombre de mètres cubes dépensés.

Eclairage des mines. — Il existe peu d'applications de l'électricité à l'éclairage des mines, on cherche des moyens pratiques de le réaliser.

Il serait fort à désirer, dans l'intérêt de la sécurité des mineurs, que l'éclairage électrique fût adopté dans l'intérieur des mines. Quand on réfléchit aux conditions dans lesquelles l'éclairage électrique par incandescence pourrait être établi dans les galeries dangereuses, on reconnaît que la plupart des objections soulevées contre lui n'ont plus de raison d'être. L'emploi des courants de faible tension et de conducteurs bien isolés préviendrait les étincelles, et les lampes, convenablement construites, ne pourraient en aucun cas provoquer l'inflammation du mélange détonant. On possède tous les moyens d'obtenir une solution satisfaisante du problème: la preuve en est qu'en Angleterre on a fait dernièrement (1887) une installation d'éclairage du fond dans une mine du pays de Galles, à Yniss.

Eclairage de la mer. — MM. Alley et Mac-Lellan, constructeurs à Glasgow, ont équipé électriquement un yacht à vapeur de façon à pouvoir éclairer la mer à une profondeur de 30 mètres, en vue de la pêche aux perles dans les eaux de l'Australie méridionale. On emploie pour cela une machine Brush et une lampe renfermée dans un large globe en verre très résistant.

Eclairage des navires. — Depuis quelques années on a installé à bord des grands paquebots et des navires de guerre un éclairage électrique par lampes à incandescence. Les navires de guerre sont également munis de puissants foyers à arc et de projecteurs permettant de lancer au loin un faisceau lumineux très intense.

L'éclairage électrique a remplacé avantageusement l'éclairage à l'huile dans les navires destinés au transport des voyageurs. On a ainsi plus de confort et on diminue les chances d'incendie.

Comme exemple d'installation de la lumière électrique à bord des navires, nous citerons celle du paquebot-poste « l'Océanien », qui date de l'année 1885.

« L'éclairage de ce bateau, qui appartient à la Compagnie des Messageries maritimes, comprend 200 lampes à incandescence de 12 bougies pour les salons, couloirs et cabines, 21 lampes de 20 bougies pour les grandes soutes à bagages et marchandises et 3 lampes de 10 bougies pour les feux de route. Une lampe à arc de 150 carrels peut, à un moment donné, être rapidement suspendue à l'extrémité d'une vergue pour éclairer les abords et le pont du bateau, soit pour un chargement ou un déchargement, soit pour toute autre opération nécessitant une lumière générale à l'extérieur.

« Une installation d'éclairage à bord d'un bâtiment doit satisfaire aux conditions suivantes: un certain nombre de lampes doivent fonctionner toute la soirée et leur extinction ne pouvoir se faire que par groupes déterminés; d'autres lampes doivent pouvoir être éteintes par groupes ou individuellement dans chaque groupe; d'autres enfin ne doivent jamais être éteintes. Enfin, il faut être en mesure de parer à tout arrêt accidentel, de rétablir instantanément l'éclairage complet d'une partie quelconque du bateau et de faire qu'aucun compartiment ne soit, en aucun cas, privé complètement de lumière.

Ce programme se trouve rempli à bord de l'« Océanien ». En effet, le service est assuré par deux groupes de machines Gramme distinctes du type P.C. 100; chacune d'elles est commandée directement par un moteur à grande vitesse, système Migy, tournant à la vitesse de 750 tours. Chaque machine peut fournir un courant de 118 ampères, c'est-à-dire alimenter jusqu'à 180 lampes de 12 bougies, ce qui est le nombre de lampes allumées en moyenne. Pour laisser

aux lampes toute indépendance, les machines dynamos sont à double enroulement, de sorte que la chute de potentiel reste constante aux bornes, qu'elles que soient les variations de résistance du circuit extérieur, à la condition que la vitesse du moteur reste rigoureusement constante. Grâce à cette disposition, on peut, sans introduire aucune résistance en un point du circuit ou à la machine, faire varier le nombre de lampes depuis le maximum 180 jusqu'à une seule.

maintenir constante l'intensité des lampes allumées et dépenser une quantité de travail proportionnelle au nombre des lampes en activité. La force nécessaire pour 150 lampes de 12 bougies est de 12,5 chevaux. Le poids total d'un moteur Mégy est de 2,500 kilogrammes.

« Afin d'éviter une extinction totale en cas d'arrêt accidentel de l'un de ces moteurs, les lampes des parties principales du bateau sont alimentées par deux

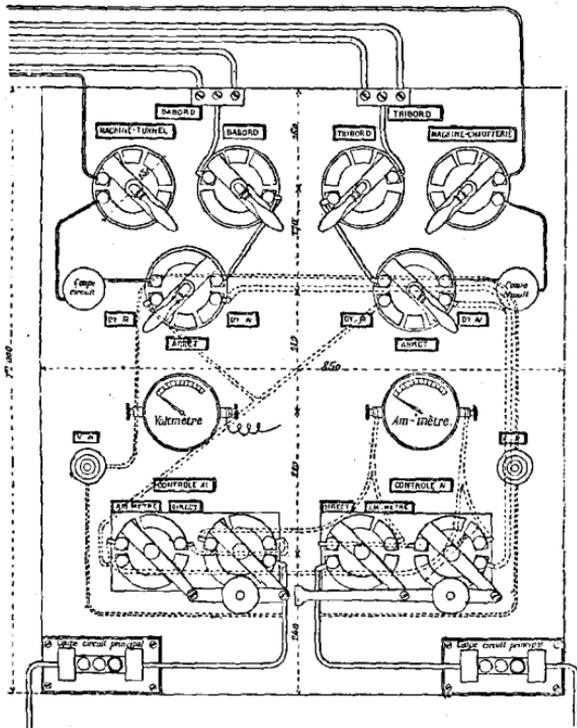


Fig. 2.

circuits principaux (hâbord et tribord); deux autres circuits moins importants, quant au nombre de lampes, mais presque toujours en activité, éclairaient la machine motrice, les tunnels et les chaufferies. Chaque compartiment du navire est éclairé à la fois par des lampes appartenant à chacun des circuits de bâbord et de tribord.

« Les extrémités des fils de chaque circuit aboutissent, ainsi que ceux venant des dynamos, à un tableau de distribution, placé dans la salle des machines et sur lequel sont fixés : quatre commutateurs pour la mise en marche ou l'arrêt complet des quatre circuits principaux; deux autres commutateurs permettant d'alimenter ou les quatre circuits par une quelconque des deux machines dynamos, ou deux

par la machine avant, et les deux autres par la machine arrière; un voltmètre pour contrôler la chute de potentiel aux bornes de l'une ou l'autre machine; un ampèremètre pour vérifier l'intensité du courant fourni, soit par la machine arrière, soit par la machine avant; deux coupe-circuits principaux placés sur le circuit total de chaque dynamo pour le rompre automatiquement dans le cas d'un débit exagéré et dangereux pour les appareils. La fig. 2 donne la vue de ce tableau sur lequel les extrémités des fils sont repérées au moyen de signes de couleurs différentes. Les circuits de bâbord et de tribord se subdivisent en un certain nombre de circuits ayant chacun pour objet l'éclairage d'une partie déterminée du bateau, salons, cabines, conloirs, etc., à un moment et pour un temps

déterminés. Un commutateur à clef permet, seulement à la personne chargée de ce service, la mise en marche et l'arrêt de chacune de ces subdivisions,

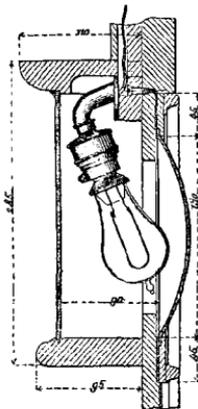


Fig. 3.

donc les lampes sont également protégées par un coupe-circuit automatique. » (*Revue industrielle.*)

Les lampes à incandescence sont des lampes Edison placées dans l'intérieur de globes dépolis et dans

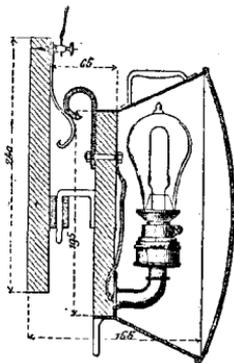


Fig. 4.

des lanternes spéciales suivant les locaux qu'elles sont destinées à éclairer.

Nous donnons, Fig. 3 et 4, la vue des supports des lampes pour cabines de passagers, et des lampes mobiles pour le pont.

Les feux de route sont également électriques.

L'installation qui vient d'être décrite peut être citée comme un des meilleurs exemples d'emploi de l'électricité à bord des navires.

Éclairage des canaux pour la navigation de nuit. — L'éclairage électrique a reçu, en 1886, une application nouvelle et intéressante à signaler; grâce à l'emploi de la lumière électrique la navigation se fait maintenant dans le canal de Suez aussi bien de nuit que de jour; elle est assurée par l'emploi de feux de direction sur la ligne du canal et de feux électriques à bord des navires. Nous reproduisons ci-après des extraits de la note communiquée à ce sujet à l'Académie des Sciences par M. de Lesseps.

« L'application de la lumière électrique au passage des navires dans le canal de Suez a été étudiée :

« 1^o Au point de vue de l'exécution de nuit des travaux d'entretien et d'amélioration, dans le but de diminuer, pendant le jour, les ennuis qui peuvent résulter pour la navigation, dans certains cas, de la présence dans le canal des appareils de dragage en travail et des transporteurs emportant les déblais;

« 2^o Au point de vue du transit des navires proprement dit, le passage de nuit permettant de réduire la durée des arrêts en garage, évitables jusqu'au moment où l'élargissement du canal maritime, effectué dans toute sa longueur, facilitera les croisements.

« Après un certain nombre d'expériences longues et délicates, ces deux questions ont été résolues avec succès.

« La question de la navigation de nuit dans le canal devait être abordée avec la plus grande prudence; un essai prématuré malheureux et un insuccès surtout eussent produit, sur les armateurs et les assureurs, une impression déplorable, susceptible de retarder l'application pratique de la méthode nouvelle recherchée. Un succès trop hâtif, d'autre part, eût peut-être préparé des déceptions.

« La note jointe à cette communication résume les études et les essais faits depuis le commencement de 1881.

« Dès le début, l'idée de l'éclairage même du canal a dû être définitivement écartée. Ce système, excessivement coûteux, aurait plutôt nuï à la bonne marche des navires : la lumière n'eût pas éclairé, mais ébloui les pilotes et les capitaines.

« Les études et essais de toute sorte se terminèrent, au commencement de 1883, par une application pratique aux dragages de nuit par porteurs. Ces essais répondaient à la fois aux conditions d'un *travail de nuit* dans le champ de dragage, et à celles d'un *transit de nuit* des porteurs, véritables navires marchant à 10 kilomètres par heure, vitesse réglementaire des bâtiments passant par le canal.

« Les appareils à bord de la drague comprenaient : une machine dynamo-électrique Gramme, trois lampes Gramme avec réflecteur, et un moteur Brotherhood de 5 chevaux de force, alimenté par la chaudière à vapeur de la drague elle-même. L'ensemble de ces appareils devait donner un éclairage régulier sur le pont, dans le puits de la drague, et projeter une clarté suffisante sur une zone environnante d'au moins 100 mètres de largeur à partir des flancs et des extrémités de l'appareil.

« Chaque porteur naviguant était muni d'une machine dynamo-électrique Gramme, donnant 2½ ampères, d'une lampe Gramme devant être allumée pendant le chargement et éteinte pendant la marche; d'un *projecteur* Mangin, à porte divergente, et d'un moteur Brotherhood de 3 chevaux de force alimenté par la chaudière du porteur, ensemble destiné à réaliser un éclairage régulier et suffisant pour les manœuvres sur le pont des porteurs, pour leur accostage

et enfin pour leur marche de nuit dans le canal maritime.

« Ces essais pratiques ayant réussi, il fut procédé, au commencement de 1884, à un essai prolongé de transit de nuit au moyen de l'un des porteurs. Ce navire passa de nuit, d'Ismaïlia à Suez (c'est-à-dire dans la partie du canal où se rencontrent des courbes et des courants), dans d'excellentes conditions. Cet essai démontra que le principe et les dispositions des appareils étaient convenables, et qu'il suffisait, pour arriver au succès, de quelques légères modifications dans les appareils et d'un changement dans la disposition des bouées balisant le chenal, qu'il convenait de rapprocher de manière que le faisceau lumineux du projecteur de bord du navire pût éclairer trois coupes de balises à la fois.

« Il fut aussitôt décidé que des essais tout à fait concluants seraient faits au moyen d'un des gros remorqueurs de la Compagnie. Ces essais ont permis, sans hésitation, d'arrêter le mode de navigation de nuit actuellement pratiqué.

« Le remorqueur, de 36 mètres de longueur à la flottaison et 6^m,30 de largeur au fort, fut muni d'une machine dynamo-électrique du système Gramme, donnant 45 ampères et commandée directement par un moteur à vapeur Mégy, alimenté aux chaudières du navire, d'un projecteur de 0^m,40 de diamètre, placé à l'avant, avec miroir aplanaïque du colonel Mangin et porte divergente, d'une lampe automatique de Gramme pour l'éclairage du pont, des flancs et de l'arrière du remorqueur, suivant les besoins; d'une table de distribution, avec résistances d'équilibre, et de tous les câbles et accessoires divers nécessaires.

« Les essais de transit de nuit du remorqueur, faits en mai 1884, réussirent complètement. On en conclut que des navires gouvernant bien, munis d'appareils similaires, pourraient certainement passer le canal de nuit avec les installations à bord ci-dessus décrites, un rapprochement des bouées de 3/10 à 2/10 de mille, l'établissement de feux de direction donnant les alignements droits et les tangentes des courbes, feux au périscope, d'une portée de 9 milles, montés sur des potences spéciales ou des bouées lumineuses du système Pintsch.

« Ces installations étant terminées et éprouvées dans une première section du canal (de Port-Saïd au kilomètre 54), la Compagnie publia, le 5 novembre 1885, le règlement annonçant qu'à partir du 1^{er} décembre 1885, et jusqu'à nouvel ordre, les navires de guerre et les navires postaux, gouvernant bien et munis des appareils voulus, seraient autorisés à passer le canal de nuit aux mêmes conditions édictées pour le transit de jour.

« Les appareils nécessaires à bord étaient : à l'avant du navire, un projecteur électrique d'une portée de 1.200 mètres; à l'arrière, une lampe électrique capable d'éclairer un champ circulaire de 200 à 300 mètres de diamètre; sur chaque flanc une lampe électrique avec réflecteur. Ce règlement spécifiait, en outre, les conditions dictées par l'expérience pour les manœuvres de transit, la marche et les garages.

« Les navires ont à se munir à leurs frais, et suivant leurs convenances, des appareils d'électricité, qu'ils utilisent d'ailleurs hors du canal pour leurs propres opérations. La Compagnie n'impose aucun système d'éclairage électrique; elle autorise à transiter de nuit tout navire de guerre ou tout paquebot-poste dont les appareils sont reconnus répondre, en pleine sécurité, comme intensités et positions des foyers lumineux, à toutes les conditions nécessaires dans les limites du règlement spécial publié.

« Dans la pratique actuelle de la navigation de nuit, un navire transitant se dirige dans les parties rectilignes du canal en pointant sur le feu de direction le plus éloigné qu'il aperçoit, sans allumer son projecteur ni ses lampes, à moins qu'il ne veuille, à un moment donné, vérifier sa position par rapport aux bouées du chenal. Dans les courbes, les feux spéciaux donnent au navire la direction d'entrée, ainsi que la direction de sortie, et la courbe est décrite en manœuvrant à l'aide des feux du projecteur, des lampes de flanc et, au besoin, de la lampe d'arrière qui peut indiquer constamment la position de l'étambot par rapport aux limites du chenal.

« Les navires qui ont transité de nuit sont dénommés sur une note détaillant les principales conditions de la traversée de chacun d'eux.

« Tous ces navires appartiennent à la Compagnie postale anglaise péninsulaire et orientale. De ce document il résulte que la durée moyenne du transit de ces paquebots-poste a été de vingt heures et dix minutes; pendant la même période de temps, la durée moyenne des autres paquebots postaux transités de jour a été de trente et une heures quinze minutes.

« La rapidité obtenue par la navigation de nuit et la sécurité matérielle constatée ont amené la Compagnie à décider l'accès d'une nouvelle section du canal à cette navigation, du kilomètre 54 au phare sud des Lacs amers.

« Des installations provisoires suffisantes, qui seront remplacées par des installations définitives correspondantes, permettront bientôt de naviguer de nuit sur 110 kilomètres du canal, qui a 160 kilomètres de longueur. Et les installations nécessaires seront poursuivies, pour que dans un temps rapproché le canal tout entier soit accessible à la navigation de nuit.

« Ce passage de nuit doublera, pour ainsi dire, la capacité de transit du canal, autorisé actuellement, par mesure de sage précaution, aux seuls paquebots-poste et aux navires de guerre, qui représentent d'ailleurs ensemble 200 pour 100 du total des navires transiteurs. La Compagnie espère bien pouvoir, dans l'avenir, étendre, dans la mesure la plus large, à tous les navires gouvernant bien, l'autorisation de transiter de nuit.

« Dans l'intérêt de la navigation universelle cette autorisation générale doit être nécessairement subordonnée aux résultats d'expériences successives facilitées et suivies avec le plus grand soin. »

Éclairage par stations centrales. —

L'éclairage domestique, c'est-à-dire l'éclairage des habitations, se développe rapidement en Amérique, en Allemagne et en Angleterre, depuis que les lampes à incandescence sont devenues pratiques; ces lampes sont, en effet, les seules qui se prêtent à l'éclairage des pièces de dimensions réduites.

Aux États-Unis, en juillet 1886, le système Edison comprenait 41 stations centrales d'une capacité utile de 100.000 lampes, dont 32 étaient déjà en fonctionnement et desservaient 85.725 lampes. En ajoutant à ce chiffre les 41.700 lampes des stations en construction on arrive au chiffre de 127.425 lampes, auquel il faut encore ajouter toutes les stations centrales installées avec d'autres systèmes que le système Edison.

Il existait à la même époque, en France, plusieurs villes dotées de stations centrales pour la production et la distribution de l'électricité pour l'éclairage domestique.

Voici la liste de ces villes, et l'indication de la

nature de la force motrice, du nombre de chevaux de force employés, du système de machines

électriques et du nombre de lampes à incandescence alimentées :

VILLES.	LAMPES à incandescence.	DYNAMOS.	NATURE de la force motrice.	NOMBRE de chevaux.
Bellegarde	800 Edison.	2 Thury.	Eau.	70
Bourganeuf.	110 Woodh.	1 Thury.	Eau.	10
Dijon.	350 Edison.	3 Edison.	Vapeur.	35
La Roche-sur-Foron.	300 Edison.	1 Thury.	Eau.	40
Modane.	170 Edison.	1 Thury.	Eau.	18
Saint-Étienne.	1.500 Edison.	4 Edison.	Vapeur.	190
Tours.	1.400 { Woodh et Swan. }	2 Siemens.	Vapeur.	100
TOTAL.	4.630	14		463

Voici, à titre d'exemple, une description sommaire des installations réalisées à Dijon et à Tours.

Installation de Dijon. — L'usine située à peu près au centre de la ville comprend une machine à vapeur du type Corliss, d'une force initiale de 90 chevaux, et 3 dynamos Edison, nouveau type à deux colonnes excités en dérivation.

Chacune de ces dynamos fournit un courant d'une intensité de 240 ampères et d'une force électromotrice moyenne de 115 volts. Elles alimentent chacune un circuit distinct, sont munies d'un rhéostat, d'un ampèremètre, d'un voltmètre et d'un appareil d'essai pour indiquer l'existence d'une dérivation à la terre par le circuit extérieur.

Les circuits extérieurs aboutissent tous à un commutateur-permutateur, qui les relie aux machines dynamos à l'aide de fiches; ce qui permet d'employer, suivant les besoins, une seule dynamo, ou les deux simultanément.

Les circuits principaux de distribution sont faits en câbles de fil de cuivre nu de 0^m,018 à 0^m,022 de diamètre formés de torsions de fils de cuivre de 0^m,001; ils sont supportés par des ISOLATEURS fixés sur des potelets en fer, scellés eux-mêmes sur les toits des maisons. Quant aux dérivations qui aboutissent à l'intérieur des maisons, elles varient comme diamètre suivant le nombre des lampes à desservir.

Ces lampes sont du système Edison (types A et B), fonctionnant respectivement avec des courants de 0,75 ampère et 110 volts, et 1 ampère et 55 volts.

L'abonnement annuel à l'éclairage électrique coûte 80 francs par lampe du type A (de 16 bougies) et 42 francs par lampe du type B (de 8 bougies). Chaque lampe du premier type remplace 2 becs de gaz de 120 litres chacun.

Voici comment se calcule le prix de revient annuel de la lampe du type A en se basant sur une durée d'éclairage de 6 heures par jour, soit 2.190 heures par an (ce qui est la durée moyenne effective) :

Chaque lampe prend une force motrice de 1/3 de cheval. On a donc :

	fr. c.
Charbon.	14 14
Huile, graisse, chiffons, etc.	4 "
Remplacement de 4 lampes, à 5 francs l'une (la durée d'une lampe étant évaluée à 500 heures).	20 "
Frais généraux et imprévus.	16 86
Total.	53 "

Le bénéfice de la Société, en comptant un abonnement annuel de 30 francs, est de 25 francs, dont il faut déduire la part afférente à l'amortissement et à l'intérêt du capital engagé.

On remarquera qu'à Dijon le prix de l'abonnement est fixé à tant par an et par lampe, de sorte que l'abonné à l'éclairage électrique qui n'emploie pas le maximum de lumière distribuée paye la même somme que celui qui profite de toute la durée de l'éclairage (qui est de 6 heures en moyenne). C'est qu'en effet les COMPTEURS D'ÉLECTRICITÉ imaginés jusqu'à ce jour ne donnent pas des résultats pratiques satisfaisants.

Installation de Tours. — Citons encore la station centrale de Tours, où la distribution de l'électricité est basée sur l'emploi des TRANSFORMATEURS Gaulard et Gibbs. L'usine comprend : deux machines à vapeur compound Weyher et Richemond, pouvant produire ensemble une force de 250 chevaux.

En mai 1886, elles n'alimentaient que deux machines dynamos Siemens à courants alternatifs, excitées chacune par une machine Siemens à courants continus.

L'intensité du courant d'excitation étant de 25 ampères, chaque machine à courants alternatifs donne, à la vitesse de 536 tours par minute, un courant de 32 ampères et de 825 volts aux bornes de la machine.

La distribution est faite par deux circuits distincts, chaque circuit étant alimenté par une machine à courants alternatifs. Sur chaque circuit deux groupes de transformateurs sont montés en dérivation. Les circuits inducteurs ou primaires de chaque transformateur sont groupés en tension et sont traversés par un courant de 32 ampères environ et de 825 volts. Les circuits secondaires ou induits sont, au contraire, groupés en dérivation et fournissent aux conducteurs de distribution un courant maximum de 50 volts et de 250 ampères.

On maintient constante la différence de potentiel aux bornes des circuits de distribution en rendant constante la différence de potentiel aux bornes de la machine génératrice; ce résultat s'obtient en introduisant, à la main, des résistances modifiant comme il convient l'intensité du courant d'excitation de cette machine.

Les lampes à incandescence employées sont de deux types : les lampes de 16 bougies qui prennent 43 volts et 1 ampère, celles de 8 bougies qui prennent 48 volts et 0,6 ampère.

L'abonnement est fixé à 42 francs par lampe de

16 bougies et par an, l'éclairage fonctionnant depuis la tombée de la nuit jusqu'à minuit et demi.

Dans un système d'éclairage tel que nous venons de le décrire, où l'on utilise des courants très énergiques, il faut employer des commutateurs-interrupteurs conçus de façon à préserver les agents qui les manœuvrent de secousses dangereuses. M. Trouvé a combiné un commutateur de ce genre, qui est représenté *fig. 5*, et qui se compose de quatre équerres métalliques disposées deux à deux sur un socle de matière isolante. Le levier de manœuvre pivote sur les deux équerres inférieures et s'engage à frottement élastique (le tube métallique qui constitue ce levier est fondu dans le sens de sa longueur) entre les deux équerres supérieures où aboutissent les fils conducteurs du circuit. Ce commutateur convient bien aux courants de haut

potentiel, puisque, contrairement aux commutateurs ordinaires, la distance qui sépare les pièces de contact au moment de l'interruption croît plus vite que le chemin parcouru par le levier, et en outre ce levier est entièrement en dehors du circuit. Pour interrompre avec la plus grande rapidité possible la communication électrique établie, il suffit de passer dans l'anneau du levier articulé un crochet à manche en matière isolante et d'exercer un vigoureux effort de traction. Le déclenchement du levier se fait alors rapidement.

Petites installations d'éclairage électrique domestique. — Pour les petites installations d'éclairage électrique domestique, dans le cas, bien entendu, où l'on ne peut être desservi

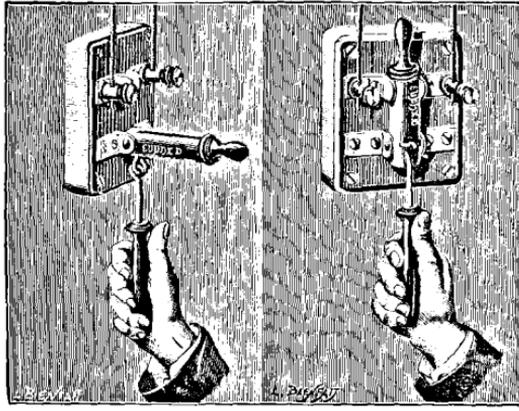


Fig. 5. — Commutateur Trouvé.

par une usine centrale d'électricité, il paraît rationnel d'employer des accumulateurs chargés par des piles continues à circulation.

Cette solution dispense de l'emploi d'un moteur à vapeur ou à gaz et de machines dynamo-électriques. Les accumulateurs remplissent une double fonction : ils servent de réservoirs et de régulateurs. On peut citer, parmi les piles continues à circulation, celles au bichromate de potasse et de soude de M. M. Camacho, de M. Fuller, de M. Cloris-Baudet, et les piles à écoulement de M. d'Arsonval, etc. M. Trouvé a également construit des piles à auge et à treuil pour l'alimentation directe des lampes à incandescence. (V. PILES.)

Éclairage des trains. — M. D. Tommasi a fait des expériences en France et en Belgique en 1881 et 1882 pour éclairer les trains au moyen de lampes à incandescence. Ces lampes étaient alimentées par une machine dynamo-électrique placée dans un fourgon et actionnée par une courroie montée sur l'un des essieux du véhicule; une série d'accumulateurs et un commutateur spécial étaient branchés sur le circuit des lampes. Ces accumulateurs, qui se chargeaient et étaient entretenus en charge par l'excédent du courant fourni par la dynamo lorsque le train était en marche, alimentaient les lampes pendant

les stationnements. Pour atteindre ce résultat, le commutateur dont il a été parlé plus haut était disposé de telle sorte que lorsque le courant de la dynamo s'affaiblissait par suite du ralentissement de la marche du train, la machine était mise hors circuit et remplacée par les accumulateurs; lorsque au contraire le train avait repris une vitesse suffisante, le commutateur mettait les accumulateurs en charge et rétablissait l'alimentation des lampes par la dynamo.

Ces essais ont été répétés dans différents pays. Dans certains cas la machine dynamo était actionnée par un moteur Brotherood, de façon à supprimer l'emploi des accumulateurs qui représentent un poids mort très considérable. Dans d'autres, au contraire, on employait uniquement des accumulateurs chargés avant le départ.

Dans tous ces systèmes, un inconvénient s'est toujours présenté lors des manœuvres des trains en cours de route; qu'il s'agisse d'ajouter ou de retirer des voitures, le circuit étant rompu, les lampes s'éteignent. M. Donato Tommasi a proposé, pour éviter cet inconvénient, un système mixte d'éclairage au gaz d'huile et à l'électricité. Ce système est très ingénieux; mais la question économique n'est pas encore résolue.

Citons encore pour mémoire le procédé qui a été

essayé sur le chemin de fer métropolitain à Londres, et qui consiste à produire le courant à l'une des stations et à le faire circuler dans des conducteurs posés entre les rails. Un frotteur, que le garde du train abaisse ou relève à volonté, permet de fermer ou de rompre le circuit et de produire, par suite, l'allumage ou l'extinction des lampes du train. Ce système, qui présente une certaine originalité, n'est applicable qu'à des distances relativement faibles.

Nous citerons enfin un mode d'éclairage inauguré en avril 1886 dans les wagons-restaurants qui circulent sur les lignes de Paris à Bruxelles et de Paris à Lille. Cet éclairage est obtenu au moyen des piles primaires de M. L. Deauruelles.

La pile au bichromate (v. pile) qui fournit le courant nécessaire est placée sous la voiture. Comme au bout d'un certain temps de fonctionnement le courant s'affaiblit et que, par suite, la lumière diminue, on a placé dans l'intérieur de la voiture un rhéostat qui permet, par une manœuvre des plus simples, de redonner au courant le supplément d'intensité nécessaire au fonctionnement normal des lampes. Ce rhéostat est disposé de telle sorte que l'on ne peut dépasser l'intensité voulue, ce qui aurait pour conséquence de brûler les lampes ou d'épuiser la pile, dont la durée, dans les conditions où l'on se place, est parfaitement déterminée.

Le rhéostat se compose d'une série de bobines de mallechort placées à la circonférence d'une roue dans le sens des rayons et de lames de cuivre qui s'appuient sur cette roue de façon à constituer une sorte de commutateur rotatif. La roue est mise en marche par un pignon monté sur un arbre que l'on peut faire tourner avec une clef. Pour empêcher l'agent qui manœuvre ce commutateur de supprimer trop de résistances, on intercale dans le circuit une BALANCE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE, qui se compose d'un solénoïde dans l'intérieur duquel peut se mouvoir un noyau de fer doux suspendu à l'une des extrémités d'un levier. L'autre extrémité de ce levier est armée d'une goupille qui vient s'engager entre les branches d'une roue étoilée calée sur l'axe de la roue qui porte les résistances dès que le débit normal est atteint; tant que le débit est inférieur au débit normal, un ressort de rappel empêche le noyau d'obéir au solénoïde et par suite d'arrêter le mouvement de la roue étoilée. Un compteur horaire, muni d'un levier d'arrêt-marche, est intercalé dans le circuit et commandé par un électro-aimant; ce compteur indique à chaque instant le nombre d'heures de fonctionnement de la pile et permet de calculer ainsi le temps pendant lequel cette pile fournira le courant nécessaire au fonctionnement des lampes.

Les lampes sont du système Lane-Fox; elles ont une puissance lumineuse de 6 bougies et fonctionnent avec un courant d'une intensité de 0,9 ampère.

Chaque voiture est éclairée par 19 lampes de 6 bougies montées en dérivation et 2 lampes de 3 bougies montées en tension, ce qui équivaut à 20 lampes de 6 bougies en dérivation.

La résistance totale des lampes étant de 1,050 ohm, celle du circuit de 0,025, celle du rhéostat de 0,360 et celle de la pile de 0,350, ce qui fait en tout 1,925 ohms, on voit que la formule d'Ohm $(I = \frac{E}{R})$ nous donne pour l'intensité du courant $I = 32,35 : 1,925 = 17,06$ ampères. Chaque lampe fonctionne donc avec un peu moins de 0,9 ampère.

La pile peut servir sans être rechargée pour 4 voyages de 7 heures chacun, soit pour 28 heures d'éclairage.

L'inventeur estime que le prix de revient est de 0 fr. 063 par lampe de 6 bougies et par heure.

Statistique de l'éclairage électrique.
— En mai 1886, la statistique de l'éclairage électrique en France pouvait être établie comme il suit :

DÉSIGNATION DES EMPLACEMENTS.	NOMBRE d'installations.	NOMBRE de lampes à arc.	NOMBRE de lampes à incandescence.
Voies publiques	40	108	440
Édifices publics.	5	»	1.487
Théâtres.	14	324	3.244
Navires.	25	52	5.947
Maisons particulières. . . .	28	98	1.594
Magasins, cafés.	49	762	3.932
Musées.	3	2	800
Ateliers, usines, etc.	895	4.163	33.537
Chantiers de travaux pu- blics.	8	61	10
Stations centrales.	7	»	4.630
Appareils photo-électri- ques.	»	300	»
	1.044	5.880	55.321

L'électricité commence, comme le montrent les chiffres précédents, à faire une concurrence assez sérieuse au gaz.

En comptant que chaque lampe à incandescence a une intensité lumineuse moyenne de 1,5 carcel; que chaque lampe à arc a une intensité moyenne de 75 carcels, et enfin que, pour une intensité lumineuse d'un carcel, il faut brûler 130 litres de gaz, on trouve que, pour obtenir : 1^o la quantité de lumière fournie par les 55.321 lampes à incandescence, il faudrait brûler : $130 \text{ litres} \times 1,5 \times 55.321 = 10.767.595$ litres de gaz; 2^o la quantité de lumière fournie par les 5.880 lampes à arc, il faudrait brûler $130 \times 75 \times 5.380 = 51.330.000$ litres de gaz, soit en tout 78.000.000 litres ou 78.000 mètres cubes qui, à 6 fr., 36 le mètre cube, représentent une somme de 23.400 francs pour la dépense horaire.

Éclairage des serres. — En 1881, pendant l'Exposition d'électricité de Paris, M. Deherain, professeur au Muséum d'histoire naturelle et à l'École d'agriculture de Grignon, fit des expériences ayant pour but de connaître si la lumière électrique émanée de régulateurs à conducteurs de charbon exerçait sur les végétaux une action comparable à celle du soleil et si elle pouvait par suite être utilement employée à l'éclairage nocturne des serres. Il y avait, en effet, un grand intérêt à savoir si non seulement la lumière électrique favorisait le développement des plantes, mais si par un éclairage prolongé il était possible de hâter la croissance des végétaux et d'obtenir ainsi plus rapidement certains produits, fleurs ou fruits, d'une vente avantageuse pendant la partie de l'année où on ne peut les récolter à l'air libre.

Les premiers essais ne furent pas encourageants; on constata que les plantes soumises à l'influence de la lumière électrique dépérissaient au bout de quelques jours, ce qui montrait que la lumière émanée d'un régulateur renferme des rayons nuisibles. Des constatations analogues avaient d'ailleurs été faites deux ans auparavant, en Angleterre, par M. Siemens. Il importait dès lors de reconnaître si la lumière électrique, qui renferme des radiations nuisibles, en ren-

forme d'autres effluvoques pour exciter le phénomène fondamental de la vie végétale, c'est-à-dire la décomposition de l'acide carbonique par les cellules à chlorophylle.

Les expériences faites dans ce sens par M. Dehérain ne lui laissent aucun doute sur l'existence de ces radiations avantescentes. On entoura donc les lumières de globes de verre transparent et on recommença une nouvelle série d'essais, qui permirent à M. Dehérain de formuler les conclusions suivantes :

1° La lumière émanée des régulateurs renferme des rayons nuisibles à la végétation ; ces rayons sans doute les plus réfrangibles du spectre.

2° Elle renferme, en outre, en faible quantité, les radiations efficaces pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique et l'évaporation de l'eau par les feuilles.

3° Ces radiations, insuffisantes pour assurer le développement des semis, sont assez énergiques pour maintenir en végétation pendant deux mois des plantes de pleine terre, telles que les maïs, des pélargoniums, des chrysanthèmes ou des giroflées.

4° Une lumière électrique évaluée à 2.000 bougies, succédant la nuit à la lumière diffuse ou à la lumière du jour, n'a, dans les conditions particulières où l'on était placé, exercé aucune action favorable sur les plantes qui y étaient exposées.

(Rapport du Jury de l'Exposition de 1881.)

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE TÉLÉGRAPHIE. — (V. ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ.)

ÉCRAN MAGNÉTIQUE. — Nom donné à une pièce de fer doux (plaque, cylindre, etc.) dont on recouvre l'appareil qu'on veut protéger contre les effets du magnétisme extérieur. On le GALVANOMÈTRE marin de Thomson est enveloppé d'une boîte en fer doux épais, pour le protéger contre le magnétisme terrestre et l'action magnétique des pièces de fer des navires sur lesquels on s'en sert.

ÉCRITURE ET DESSIN ÉLECTRIQUES. — En 1859, M. Martin de Brettes a imaginé des plumes et crayons électriques pouvant fournir des traces tracées permettant la reproduction indéfinie de dessins et de caractères d'écriture. Ce système a été appliqué par l'inventeur à la reproduction des dessins sur les étoffes à broder : le dessin était trempé dans une solution de cyanure jaune de potassium et appliqué ensuite sur une plaque de cuivre mise en communication avec le pôle positif de la bobine de Ruhmkorff. On promenait à petite distance du papier un fil de platine relié à l'autre pôle de la bobine. On suivait avec ce fil les contours du dessin, et les étincelles qui éclairaient entre son extrémité et la plaque de cuivre perforaient le papier et le rendaient propre à faire un poncif analogue à ceux obtenus avec la molette à pointes des dessinateurs de broderies.

M. Bellet arrive au même résultat en remplaçant le fil de platine par un crayon ordinaire à la mine de plomb (corps médiocrement conducteur), en trempant simplement le papier dans l'eau salée, et enfin en écoulant l'excédent de la charge statique à l'aide d'un PARAPOUFRE à pointes interposé dans une dérivation du circuit de la bobine. On obtient ainsi des reproductions très délicates du dessin, qui se trouve perforé en même temps qu'on le trace.

Enfin M. Edison perce le papier mécaniquement par l'intermédiaire d'un petit électromoteur. (V. PLUME ÉLECTRIQUE.)

ÉCRITURE MAGIQUE. — Procédé appliqué par M. Combettes, basé sur le phénomène observé par M. de Haldal et nommé par lui FIGURES MAGNÉTIQUES. On trace, avec la pointe d'un pôle d'aimant, des caractères d'écriture ou des dessins quelconques sur une feuille d'acier trempé et on répand sur la plaque de la limaille de fer, qui adhère aux points touchés par l'aimant et met ainsi en évidence l'écriture ou les dessins. Pour rendre les lignes magnétiques plus apparentes on recouvre la plaque d'acier d'un vernis blanc ; ou bien encore on peut étamer cette plaque, ou y coller une feuille de papier.

EFFET PELTIER. — Nom donné au phénomène suivant, observé par Peltier. Si on forme un circuit avec deux barres de métaux différents soudées entre elles à leurs deux extrémités et si l'on vient à échauffer l'une des soudures, le circuit est parcouru par un courant électrique ; si au contraire on fait passer un courant dans le circuit, l'une des soudures s'échauffe et l'autre se refroidit ; si on inverse le sens du courant, la soudure qui s'échauffait se refroidit et réciproquement. (V., pour la théorie de ce phénomène, FILE THERMO-ÉLECTRIQUE.)

EFFET THOMSON. — Nom donné à un phénomène observé par sir W. Thomson : « Un courant électrique traversant un conducteur métallique dont les extrémités sont à des températures inégales transporte de la chaleur avec lui dans une direction qui dépend de la nature du métal et du sens du courant. »

La grandeur et la direction de l'effet Thomson dépendent d'un coefficient constant pour le même métal, mais variable d'un métal à l'autre. En général ce coefficient est positif pour les métaux ayant une grande résistance spécifique électrique et une grande chaleur spécifique ; il est au contraire négatif pour les métaux ayant un grand coefficient de dilatation. (V., pour la théorie de ce phénomène, FILE THERMO-ÉLECTRIQUE.)

EFFLUVE ÉLECTRIQUE. — Phénomène électrique, tantôt faiblement lumineux, tantôt invisible, qui se produit toutes les fois que les deux pôles d'une pile ou d'une machine sont mis en regard et séparés par un milieu assez isolant pour que l'étincelle ne puisse jaillir, mais assez peu résistant pour permettre une certaine diffusion de l'électricité. Nous citerons deux exemples :

1° Les aigrettes lumineuses qui se produisent à l'extrémité des pointes (FÊTE SAINT-ÉLME.)

2° Les phénomènes lumineux que l'on remarque à l'intérieur des TUNES de GUASSERA.

En général, l'effluve n'est autre chose qu'un écoulement continu d'électricité, tandis qu'au contraire l'étincelle est toujours disruptive.

EFFLUVOGRAPHIE. — Obtention de l'image photographique dans l'obscurité par l'EFFLUVE ÉLECTRIQUE. Le 3 mars 1886, M. le Dr Boudet, de Paris, a fait à la Société internationale des Electriciens une communication sur cette question. Le 22 mars de la même année, M. le Dr D. Tommasi a présenté à l'Académie des Sciences une note relative au moyen d'obtenir par la seule action de l'effluve électrique (décharge obscure) les mêmes effets que ceux qu'on réalise par l'emploi de la lumière en photographie. Voici le dispositif qu'il emploie : Deux brosses métalliques, disposées parallèlement en regard l'une de l'autre, sont reliées chacune à un pôle d'une machine de Holz. Une plaque au gélatino-bromure, sensiblement de même hauteur, est placée perpendiculairement aux brosses de telle sorte que le plan de la face sensibilisée

contienne les bords de ces brosses, ou en soit très voisin dans les deux sens.

Le courant établi, une pose de quelques minutes est suffisante. Cette opération doit s'effectuer dans l'obscurité la plus complète. Il ne reste plus alors qu'à développer et à fixer, par les procédés ordinaires, l'image obtenue en pleine obscurité.

Cette expérience tend à prouver que l'éfuite produit les mêmes effets que les rayons ultra-violettes, que, par conséquent, il doit exister une liaison entre les deux parties extrêmes du spectre, et que cette liaison est constituée par ce que M. Tommasi désigne sous le nom de *rayons électriques*.

ÉGALISEUR DE POTENTIEL. — On nomme ainsi un appareil ayant pour but d'amener le potentiel d'un conducteur à être égal à celui qui est établi en un certain point de l'air ambiant.

Le fonctionnement de cet appareil repose sur la remarque suivante : la dérivée du potentiel par rapport à la normale à la surface d'un conducteur en un point quelconque est proportionnelle à la densité électrique en ce point. Elle est donc nulle tout le long de la ligne neutre, d'où il résulte que le potentiel du conducteur est égal à celui des masses d'air qui l'environnent immédiatement cette ligne neutre.

Le problème revient donc à relier métalliquement le conducteur au point de l'air dont on veut qu'il prenne le potentiel, puis à forcer la ligne neutre à passer par ce point.

Les principaux égaliseurs de potentiel sont les pointes et le plan d'épreuve. En effet, si l'on installe une pointe en ce point, la densité électrique y deviendra nulle. Pratiquement, on n'a jamais de pointe assez fine pour rendre cette densité rigoureusement nulle; aussi vaut-il mieux employer un plan d'épreuve que l'on ramène à l'état neutre après chaque contact. Au bout d'un certain temps, la densité électrique ne tarde pas à devenir inappréciable aux points où ont lieu les contacts.

ELECTRICITÉ. — Nature de l'électricité.

(V. FLUIDE ÉLECTRIQUE, CORRELATION DES FORCES PHYSIQUES, MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES, *Théorie de Maxwell*.)

Historique et Résumé des principales propriétés de l'électricité. — Les principaux moyens de développer l'électricité dans un corps sont : le frottement, la chaleur, la pression, le simple contact et les actions chimiques. Le sucin, le verre et la cire d'Espagne, frottés avec un morceau de drap ou mieux encore avec un morceau de papier gris, dégagent une faible lumière dans l'obscurité, et si on les présente à des corps légers, on voit aussitôt ceux-ci se précipiter sur eux. La tourmaline et la topaze chauffées acquièrent une certaine quantité d'électricité. Le caoutchouc, pressé fortement contre une substance quelconque, donne des marques sensibles d'électricité. Deux plaques métalliques, l'une de zinc, l'autre de cuivre, engendrent l'électricité par simple contact. Les actions chimiques, comme la dissolution des métaux dans les acides, sont presque toujours accompagnées d'un développement d'électricité. Certains poissons ont la propriété de dégager à leur gré une plus ou moins grande quantité d'électricité, dont ils se servent pour écarter leurs ennemis ou frapper leur proie.

L'électricité fut reconnue, pour la première fois, dans la résine fossile, six cents ans avant Jésus-Christ. Plus tard, on la voit se manifester dans quelques autres substances, telles que les pierres précieuses, et principalement la tourmaline. Au

xvii^e siècle, Gilbert, médecin anglais, la découvrit dans une foule d'autres corps désignés dans son *Tractatus de magnetis*; et Jallabert, dans ses expériences sur l'électricité, donne la méthode à suivre pour la trouver, même dans les substances grasses et bitumineuses. Vers le milieu du xviii^e siècle, l'abbé Herbet découvre un moyen de prouver que les métaux sont aussi susceptibles de s'électriser, c'est-à-dire d'attirer les corps légers, après les avoir soumis à un frottement plus ou moins prolongé. Acharde observe à Berlin, en 1776, que l'eau gelée à 20^e Réaumur au-dessous de zéro peut devenir électrique par le frottement. Hawksbée fut le premier qui se servit des tubes de verre pour développer l'électricité, et qui obtint peu après des effets plus marqués avec des globes de verre. Le P. Gordon employait un cylindre de verre qu'il faisait mouvoir avec un archet. Dans toutes ces expériences, on produisait le frottement avec la main; ce fut Winckler, professeur à Leipzig, qui imagina le coussinet, dont l'usage ne tarda pas à s'étendre et à se perfectionner. Quelque temps après, on eut l'idée de remplacer les globes et les cylindres par un plan circulaire de glace, tournant à frottement entre quatre coussinets enduits d'amalgame d'étain ou d'or massif. Jusqu'à Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, on ne connaissait pas d'autres phénomènes électriques que ceux d'attraction; ce physicien remarqua, entre autres choses, qu'un duvet qui tombait sur une boule électrisée était repoussé immédiatement après le contact, puis qu'il était attiré de nouveau pour être repoussé de même. Il observa ensuite que deux fils parallèles voisins, suspendus à un conducteur électrisé, s'écartaient l'un de l'autre.

On reconnaît qu'un corps est électrisé en approchant des corps légers, qui sont aussitôt attirés. Tous, au reste, ne se conduisent pas alors de la même manière : quelques-uns restent adhérents, tandis que d'autres sont ensuite repoussés. Si l'on porte près du visage ou de la main un corps électrisé, on éprouve une sensation particulière, comme à l'approche d'une toile d'araignée; si on les touche, on entend sur le corps présenté le paillement d'une étincelle, qui, dans l'obscurité, devient lumineuse.

Nous avons déjà dit que lorsque l'on frotte avec une peau de chat ou un morceau de laine certaines substances comme le verre, la résine, l'ambre jaune, le soufre, etc., elles acquièrent la propriété d'attirer les corps légers, les barbes de plume, les brins de paille, de paille, de moelle de sureau, etc. Si l'on approche une tige de verre, préalablement frottée, à une certaine distance d'une boule de sureau, suspendue à un support par un fil, la boule se précipite sur le verre, puis, après un instant d'adhérence, elle s'en éloigne pour ne plus revenir, tant qu'elle conserve une portion suffisante de l'électricité dont elle s'est chargée. Si, après avoir attaché deux petites boules de sureau par deux fils métalliques à un bâton de résine, on frotte cette substance bien sèche avec une étoffe de laine également sèche, on voit les deux boules se repousser. Si on touche successivement avec un même bâton de résine ou de verre frotté deux petites boules de sureau suspendues à des fils de soie et qu'on approche ces deux boules l'une de l'autre, on les voit se repousser; si l'on touche une boule avec un bâton de résine frotté, et qu'on approche ensuite un bâton de verre frotté, la boule est attirée, tandis qu'elle était repoussée par la résine; enfin, si l'on rapproche l'une de l'autre deux boules électrisées, l'une par le verre et l'autre par la résine, il y a attraction; on conclut de ces expériences : 1^o qu'il est pour les corps deux manières d'être électrisés; 2^o que deux corps chargés de la même élec-

d'électricité se repoussent; 3° que deux corps chargés d'électricités différentes s'attirent.

Les causes premières de l'électricité étant ignorées, on a adopté, pour prévoir et lier les différents phénomènes constatés par l'expérience, une hypothèse connue sous le nom d'*hypothèse de Symmer*, dans laquelle on admet que tous les corps renferment un fluide naturel qui n'a, par lui-même, aucune propriété électrique et qui est le résultat d'une combinaison neutre de deux autres fluides dans lesquels cette propriété réside. Ceux-ci, que l'on peut isoler de diverses manières et qui produisent alors des phénomènes dépendant de leur nature, ont une grande tendance à se réunir et à se neutraliser mutuellement. On les a nommés *fluide positif et fluide négatif* ou *fluide vitré et fluide résineux*, parce que l'un est ordinairement donné par le verre et l'autre par la résine. Le caractère général de ces deux sortes d'électricité est de s'attirer mutuellement et de se repousser elles-mêmes.

Il résulte des expériences que tous les corps frottés donnent soit la même électricité que le verre, soit la même électricité que la résine; mais si l'on recherche la nature de l'électricité développée par le frottement dans un corps, on reconnaît qu'elle dépend autant du corps frottant que du corps frotté; ainsi, la cire frottée avec le verre acquiert l'*électricité vitrée*, tandis que frottée avec la résine elle prend l'*électricité résineuse*. Un bâton de verre poli frotté avec une étoffe de laine s'électrise vitreusement, et avec une peau de chat résineusement.

On a cru longtemps que les seuls corps capables d'acquérir l'électricité étaient ceux que nous avons nommés jusqu'ici, l'ambre, le verre, la résine, etc., et on les appelait *ido-électriques*; les autres étaient désignés sous le nom commun d'*anélectriques*. Ce furent Grey et Wheelér qui reconnurent qu'un métal supporté par des pieds de verre ou soutenu par des fils de soie et frotté devient électrique comme le verre et la résine. C'était un pas considérable. D'autres expériences se rattachent au même ordre de faits : un long bâton de verre frotté dans une de ses parties, au milieu par exemple, ne s'électrise que dans cette partie, tandis qu'un métal électrisé manifeste la propriété électrique en tous ses points; on peut toucher librement un corps ido-électrique électrisé sans lui enlever, si ce n'est difficilement et à la longue, ses propriétés électriques, tandis qu'un métal électrisé perd instantanément toute propriété électrique dès qu'on le met en communication avec le sol par des corps non ido-électriques. Enfin la propriété électrique se transmet instantanément par contact entre les corps anélectriques et ne passe que difficilement et à très petite dose d'un corps ido-électrique à un autre quelconque.

Ces nouvelles découvertes ont donné lieu à des changements importants d'idées et, par suite, de dénominations. On a compris que les corps qui les premiers avaient manifestés les propriétés électriques n'avaient pu le faire que parce qu'ils retenaient l'électricité qui se développe aussi bien dans tous les autres, et cela sans qu'on ait pu d'abord l'y apercevoir, parce qu'ils la perdaient aussitôt, étant à nus à la main sans précautions. On a donc désigné les premiers sous le nom d'*isolants* ou « non conducteurs », tandis que les autres ont été appelés « bons conducteurs ».

Les corps sont *bons, médiocres* ou *mauvais conducteurs* de l'électricité selon qu'ils la transmettent avec plus ou moins de facilité ou qu'ils la retiennent presque tout entière. Les métaux, le coke, la plombagine, le charbon calciné, la paille, les dissolutions salines, alcalines, acides, l'eau, etc., sont de bons conducteurs; les huiles et presque tous les corps gras sont de médiocres conducteurs; le verre, l'ambre, la

soie, le soufre, les résines, le sucre, la cire, l'air, les gaz, etc., sont de mauvais conducteurs, sauf toutefois quand un changement de température leur fait acquérir la *conductibilité*.

Un corps est *isolé* quand il est séparé des corps conducteurs par un support non conducteur, qu'on appelle *isoloir*. Le verre, la soie, la résine ou la gomme laque sont les matières isolantes les plus généralement employées.

Lorsqu'un corps isolé est électrisé, le fluide se porte à sa surface, où l'on suppose qu'il forme une couche extrêmement mince; sur une sphère, l'épaisseur de la couche est la même en chaque point de la surface. Si le corps a la forme d'un ellipsoïde allongé, le fluide s'accumule sur les extrémités du grand axe; si on allonge ce dernier sans changer le petit axe, on obtient aux pôles une charge électrique plus considérable. En général, pour un corps quelconque, l'électricité est plus grande sur les parties les plus aiguës que sur celles qui sont aplaties. Si même on place sur un conducteur électrisé une tige métallique terminée par une pointe, la tension électrique devient si forte à cette pointe que le fluide, à mesure qu'on le développe, se dissipe à travers l'air sous forme lumineuse dans l'obscurité. C'est cette propriété qu'on appelle *l'éclair* ou *les pointes* et qui a servi de base à la construction des paratonnerres.

Quand un corps électrisé est placé à quelque distance d'un autre corps à l'état naturel, le fluide neutre ou latent de celui-ci est décomposé par le fluide actif du premier. Si ce fluide est résineux, par exemple, il attire vers lui le fluide vitré qui s'est dégagé du fluide latent du corps non électrisé, et il repousse en sens contraire le fluide résineux, qui se répand dans le sol si le corps influencé est en communication avec lui. Si l'on enlève alors la communication et qu'en suite on écarte le corps électrisé qui a servi à faire l'expérience, l'autre restera chargé d'électricité de non contraire. C'est ce qu'on appelle « *électrisation à distance* ou par influence ».

Les corps électrisés, quoique isolés et terminés par des surfaces courbes, perdent toujours plus ou moins rapidement le fluide dont ils sont chargés, tant à cause de la conductibilité des supports que de celle de l'air, surtout lorsque celui-ci est humide. Toutefois l'air doit être considéré comme formant obstacle à la marche de l'électricité, car les fluides électriques se répandent avec la plus grande facilité dans le vide. L'action électrique se propage à distance à travers toutes les substances; ainsi, une petite boule de sureau, suspendue à un fil de soie sous une cloche de verre, est attirée par un bâton de cire d'Espagne, placé hors de la cloche et qu'on a préalablement électrisé. La vitesse avec laquelle le fluide électrique se propage d'un point à un autre dans un corps conducteur est excessivement grande; on a reconnu qu'elle est aussi grande que celle de la lumière.

Si l'on prend deux disques conducteurs, séparés par une lame non conductrice de verre ou de résine, dont l'un se charge, par exemple, de l'électricité vitrée, et dont l'autre est mis en communication avec le sol, l'électricité résineuse de ce dernier disque est attirée et retenue par influence, tandis que le fluide vitré est chassé dans le sol. Les disques sont alors chargés d'électricité latente ou dissimulée; en effet, on peut les toucher l'un ou l'autre sans les ramener à l'état neutre. Le fluide de celui qui est touché n'obéit pas à la force répulsive qui lui est propre, parce qu'il est retenu par le fluide de l'autre; mais si l'on approche en même temps un excitateur des deux faces de l'appareil, les deux fluides se combinent en donnant une étincelle plus ou moins forte. C'est d'après ce

principe que sont construits les CONDENSATEURS, qui servent à rendre très sensibles de très petites quantités d'électricité développées successivement par un même corps, le CARREAU FULMINANT, les bouillottes de Leyde, et, en général, les batteries électriques. On charge ces appareils en mettant une de leurs faces en communication avec le sol et l'autre avec le conducteur d'une machine électrique.

L'électricité par contact est celle qui se manifeste sans frottement et par simple superposition. Galvani remarqua le premier que la cuisse d'une grenouille écorchée récemment éprouvait de fortes convulsions lorsqu'on établissait entre les muscles et les nerfs une communication par un arc métallique; il observa de plus que ces convulsions étaient faibles lorsque l'arc était d'un seul métal, mais qu'elles étaient fortes et durables quand on employait le contact de deux métaux différents. Galvani attribua ces phénomènes à une électricité animale; mais Volta reconnut bientôt que la véritable cause de ces effets résidait uniquement dans le contact des deux métaux différents, et que l'électricité produite par ce contact se transmettait à travers les organes de la grenouille. Ces faits ont conduit Volta à la découverte de l'appareil connu sous le nom de *pile de Volta* (V. PILE), composé d'une série de plaques de zinc et de cuivre séparées par des rondelles de drap imbibées d'eau ou d'une dissolution alcaline et placées entre trois tubes de verres fixes.

Le dégagement d'électricité qui a lieu dans la longueur d'un fil conducteur qui met en communication les deux pôles d'une pile voltaïque est ce qu'on appelle le *courant électrique*. Les courants agissent sur les aimants, et réciproquement. Nous renvoyons pour l'étude de ces actions au mot ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

Effets de l'électricité. — Les effets que peut produire l'électricité par son passage instantané se classent en trois ordres : *effets physiques, effets chimiques et effets physiologiques*. On entend par effets physiologiques ceux qui se produisent sur les êtres vivants ou récemment privés de la vie. Lorsqu'une personne reçoit seule la décharge d'une bouteille de Leyde en touchant d'une main l'armature extérieure, et de l'autre l'armature intérieure, elle ressent dans les membres, surtout aux articulations, une commotion plus ou moins violente. Plusieurs personnes se tenant par la main, à la suite les unes des autres, reçoivent en même temps la secousse lorsque la première personne tient l'armature extérieure et que la dernière touche le bouton. On a observé que dans ce cas les personnes du milieu de la chaîne éprouvent une secousse moins violente que celles qui sont plus rapprochées de la bouteille. Les oiseaux et autres petits animaux placés de façon à recevoir la commotion d'une batterie électrique composée seulement de quelques bouteilles sont frappés de mort.

Les effets physiques de l'électricité sont la fusion, la volatilisation des métaux, l'inflammation de l'éther, de l'acéole, du phosphore, de la poudre à canon, le dégagement de la lumière, la rupture et la perforation des substances peu conductrices, etc. Si l'on met entre deux pointes métalliques, fixées aux deux branches isolées d'un excitateur métallique, un corps non conducteur en plaque mince, il sera percé par la décharge que l'on provoquera entre les deux pointes. L'étincelle d'une batterie brise les cylindres de bois qu'on lui fait traverser; elle rougit, brûle les fils déliés de métal, etc.

Les effets chimiques de l'électricité sont extrêmement nombreux; les décharges d'étincelles électriques favorisent un grand nombre de combinaisons chimiques, par exemple celle de l'oxygène avec l'hydrogène,

lorsque ces deux gaz sont mêlés dans la proportion nécessaire pour former de l'eau; mais elles agissent aussi pour opérer certaines décompositions, telles que celles des gaz ammoniacaux, l'acide sulfhydrique, l'hydrogène carboné, etc. L'électricité dynamique produit des effets beaucoup plus variés et plus énergiques que l'électricité statique. (V. ÉLECTRO-CHEMIE, ÉLECTRO-MAGNÉTISME, GALVANISME.)

On se sert, pour démontrer les effets de l'étincelle sur un mélange d'oxygène et d'hydrogène, d'un petit appareil appelé *pistolet de Volta*; il se compose d'un vase en fer-blanc portant sur sa paroi latérale une tubulure dans laquelle passe une tige métallique terminée par deux petites boules et mastiquée dans un tube de verre qui l'isole. L'une des boules est placée à l'intérieur et l'autre à l'extérieur du vase, dans lequel on introduit, pour l'expérience, deux volumes d'hydrogène et un volume d'oxygène. On ferme avec un bouchon et on provoque une étincelle entre la boule intérieure et la paroi du vase pour enflammer le mélange, qui projette alors le bouchon avec bruit.

L'air atmosphérique est toujours électrisé, soit positivement, soit négativement, même quand il ne présente aucune trace de nuages. Par un temps serain, l'air contient toujours un excès d'électricité positive, et cela d'autant plus que les couches sont plus élevées. La terre est constamment chargée d'électricité négative; dans les maisons, dans les rues, sous les arbres, l'électricité de l'air est presque toujours nulle; elle n'est sensible en rase campagne qu'à environ 4 mètres au-dessus du sol. Les nuages sont toujours électrisés, soit positivement, soit négativement, et avec une tension très variable; lorsqu'ils sont orageux, ils peuvent être assimilés à d'immenses conducteurs électrisés. Franklin a reconnu ces faits en faisant monter vers un nuage orageux un cerf-volant fait de taffetas et surmonté d'une verge de fer qui se terminait en pointe. Un fil de métal descendait de la verge le long de la corde jusqu'à 7 mètres environ de la main qui tenait l'appareil; le reste était un cordon de soie destiné à préserver l'observateur du danger. On vit des jets lumineux longs de 3 mètres s'élever du bas du cet appareil avec des détonations sensibles à des coups de pistolet. Ces expériences ont coûté la vie à plusieurs physiciens.

L'électricité a reçu aujourd'hui des applications très nombreuses dans l'industrie: son emploi dans les métiers à tisser, les freins, la télégraphie, l'éclairage électrique, la galvanoplastie, la transmission de la force, la traction électrique, etc., consilium des progrès récents qui ont mis à même de juger du parti que l'on peut tirer de cet agent.

Nous venons de résumer très succinctement les principaux phénomènes et les lois de l'électricité. Parmi ces phénomènes et ces lois, quelques-uns exigent des développements et des démonstrations détaillées, ou présentent, en corrélation avec d'autres phénomènes physiques, certains caractères intéressants qu'il importe de déterminer. Le philosophe ne se contente pas, en effet, de compiler et d'enregistrer les observations; il s'efforce encore de saisir et de signaler le lien naturel par lequel l'esprit les relie entre elles et les rattache à des faits d'un autre ordre. N'y a-t-il pas lieu, par exemple, de rechercher d'abord et de classer les phénomènes qui peuvent être aussi bien produits par l'électricité, la chaleur, le magnétisme, la lumière? La similitude des effets permettrait peut-être de conclure à l'unité de cause. Ici, nous nous proposons seulement d'exposer, aussi clairement que possible, les principales lois des phénomènes électriques.

La définition de l'électricité est un exemple de

l'inconvénient des définitions prématurées, c'est-à-dire faites avant la complète connaissance des faits qu'il s'agit de définir. Littéralement, *électricité* signifie « propriété de l'ambre ». Or, l'ambre frotté a toutes les propriétés des corps électrisés; mais, comme on n'y reconstruit d'abord que la propriété attractive, cette propriété est devenue l'unique élément de la définition de l'électricité, qu'il n'est d'ailleurs peut-être pas encore temps de remplacer par une autre.

Sources d'électricité. — Les principales sont : 1° **Le frottement.** Tous les corps, qu'ils soient bons ou mauvais conducteurs, peuvent s'électriser par le frottement. Toutefois, pour que les corps bons conducteurs ne perdent pas leur électricité à mesure qu'elle se produit, il faut les isoler. Si l'on tient à la main un tube de verre terminé par un cylindre de métal, on pourra électriser le cylindre en le frottant, parce que le verre empêchera l'électricité de s'échapper.

On a imaginé toutes sortes d'expériences bizarres pour manifester l'électricité engendrée par le frottement. Un physicien anglais, *Patrice Brydone*, qui était déjà parvenu à évaluer l'électricité dégagée d'un chat que l'on caresse, faisait monter sur des labourers isolés deux personnes dont les chevelures étaient restées incultes pendant plusieurs mois. Dans cette position, chacune d'elles peignait l'autre, et leurs cheveux dégagnaient alors une grande quantité d'électricité, manifestée par des étincelles.

Les métaux frottés avec de mauvais conducteurs prennent l'électricité négative, pourvu que leur surface ne soit point oxydée. Si leur surface est terne par une couche d'oxyde, ils prennent l'électricité positive, et c'est alors la substance frottante qui prend le fluide négatif. Quand on frotte ensemble deux métaux, les électricités dégagées se recombinent si vite qu'il a été longtemps impossible de les rendre manifestes. *M. Becquerel* y est cependant parvenu, grâce à un artifice ingénieux. Il a rangé les métaux dans la liste suivante, formée de telle manière que chaque substance prend le fluide négatif ou le fluide positif suivant qu'on la frotte avec une de celles qui suivent ou avec une de celles qui précèdent : bismuth, palladium, platine, plomb, étain, nickel, cobalt, cuivre, or, argent, iridium, zinc, fer, cadmium, arsenic, antimoine, anthracite, peroxyde de manganèse.

La limaille d'un métal s'électrise lorsqu'on la fait glisser sur une surface métallique.

Les effets du frottement peuvent être modifiés par une foule de circonstances (durée, vitesse, étendue, chaleur, etc.) qui influent sur la nature et la quantité d'électricité produite. Ces influences ont été l'objet, de la part de *Pélelet*, de recherches intéressantes consignées dans le tome LVII, 2^e série, des *Annales de chimie et de physique*.

L'électricité peut encore se produire à la suite de frottements éprouvés soit par un liquide, soit par un jet de gaz ou de vapeur, pourvu toutefois que le corps frottant ne soit pas de même nature que le corps frotté, c'est-à-dire qu'ils ne soient pas tous deux gazeux ou tous deux liquides. Quelques physiciens soutiennent néanmoins que cette condition n'est pas indispensable et que la similitude des substances rend seulement difficile l'application du phénomène.

2° **La pression.** Deux corps pressés l'un contre l'autre se trouvent, au moment où on les sépare, chargés d'électricités contraires. *Hatty* a reconnu qu'on peut électriser le plus grand nombre des cristaux naturels en les comprimant dans la main, et que, de plus, les cristaux soumis à cette pression conservent longtemps leur électricité. Toute opération mécanique qui a pour effet de désagréger les différentes

parties d'un corps donne aussi lieu à une production d'électricité. Tel est le clivage des cristaux, telle la liquéfaction d'un certain nombre de substances solides (soufre, résine, chocolat, etc.).

En général, toute action mécanique, de quelque nature qu'elle soit, tout effort tendant à ébranler les molécules d'un corps, produit de l'électricité. Comme rien n'est en repos autour de nous, que l'air frotte incessamment tous les corps, et qu'au milieu de l'air, tous les corps sont dans un état de perpétuelle agitation, vibrant sous les chocs et les pressions les uns des autres, on peut dire en toute vérité que nous vivons au milieu d'une active et incessante source d'électricité.

3° **Les actions chimiques.** Les réactions chimiques sont généralement accompagnées d'un dégagement d'électricité. Ce dégagement fut attribué pendant longtemps au contact des corps entre eux, aux frottements occasionnés par l'effervescence, etc. Mais depuis les travaux de *M. M. Becquerel, Faraday, de La Rive*, l'influence des actions chimiques sur le dégagement de l'électricité est hors de doute. Nous indiquerons quelques expériences.

M. Pouillet place un cylindre de charbon allumé sur un des plateaux d'un **ELECTROMÈTRE condensateur** (fig. 1) et fait communiquer l'autre plateau avec le sol. Le charbon s'électrise positivement et l'acide carbonique négativement. *M. Becquerel* place dans un vase *A* (fig. 2) de l'acide azotique, et dans un autre vase *B* une solution de potasse.

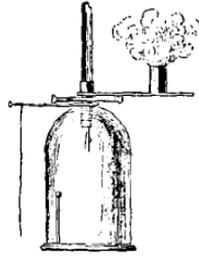


Fig. 1.

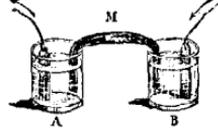


Fig. 2.

Si les deux liquides communiquent entre eux au moyen de lames de platine et sont d'ailleurs reliés à un **thermo-multiplicateur**, l'aiguille de cet appareil ne bouge pas; mais, si la communication entre les liquides est établie au moyen d'une mèche de coton *M*, les deux liquides, montant par capillarité dans cette mèche, se rencontrent, se combinent pour former de l'azotate de potasse, et aussitôt l'aiguille indique un courant électrique allant de l'acide à la base. En général, dans les combinaisons salines l'acide prend toujours l'électricité positive et la base l'électricité négative.

On peut remarquer à ce sujet que, suivant que l'eau se combine avec les acides ou avec les bases, elle prend le fluide négatif ou le fluide positif : ce qui prouve, en dehors de toute considération chimique, que l'eau se comporte, en présence des bases, comme un acide, et, en présence des acides, comme une base.

Lorsque deux acides réagissent l'un sur l'autre, celui qui cède le plus facilement son oxygène prend l'électricité négative, et l'autre l'électricité positive. De *La Rive*, dans la liste suivante, a rangé les corps, à très peu d'exceptions près, de façon que chaque subs-

tance prend l'électricité positive avec celle qui la suit et l'électricité négative avec celle qui la précède : acide phosphorique, acide sulfurique, acide azotique, acide chlorhydrique, acide oxalique, acide azoteux, dissolutions salines, dissolutions alcalines.

De même que les combinaisons, les décompositions chimiques dégagent de l'électricité. Une seule goutte d'eau salée projetée dans un creuset de platine chauffé au rouge suffit pour manifester l'électricité qui accompagne la volatilisation : le creuset prend l'électricité positive, et la vapeur emporte l'électricité négative. L'évaporation des eaux doit donc fournir à l'atmosphère de l'électricité positive. C'est l'opinion émise par M. Palmieri (v. ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE). En général, dans une décomposition chimique, chaque élément se charge de l'électricité contraire à celle qu'il a prise lorsque s'est formée la combinaison dont il fait partie.

On sait maintenant que l'électricité fournie par la pile est due aux réactions chimiques qui s'effectuent entre les métaux de l'appareil et le liquide qui relie les couples (v. PILE). Les actions chimiques dont les eaux minérales sont le siège y produisent des phénomènes électriques auxquels M. Scoutellen, professeur à la Faculté de médecine de Strasbourg, rapporte les effets thérapeutiques de ces eaux. Les intéressantes expériences auxquelles il s'est livré à ce sujet sont consignées dans un ouvrage intitulé : *De l'électricité considérée comme cause principale de l'action des eaux minérales sur l'organisme* (Paris, 1865). Nous y renvoyons le lecteur.

4^e Le contact. Quelques physiiciens mettent au rang des sources d'électricité le simple contact de substances différentes. C'est au seul contact que Volta attribuait l'électricité de la pile. Et, sans nier la vertu productive des actions chimiques, des physiiciens éminents, tels que Plaff, Marianini, Zamboni, Ohm, Péclet, Fechner, etc., ont soutenu non seulement, dans beaucoup de cas, l'électricité est engendrée par le seul contact des métaux, mais même que, dans certaines circonstances, l'électricité, une fois produite par le contact, détermine à son tour des actions chimiques, lesquelles sont ainsi l'effet et non la cause du dégagement d'électricité. De La Rive s'est attaché à réfuter la théorie du contact, et pour cela il s'est efforcé d'établir que, toutes les fois que le contact est accompagné d'une production d'électricité il y a toujours une action chimique concomitante, à laquelle, par conséquent, le phénomène peut être attribué. Un disque de zinc et un disque de cuivre sont appliqués l'un sur l'autre, et vous tenez le couple par l'extrémité zinc : il y a production d'électricité. Mais regardez le zinc aux points touchés par vos doigts, il y est terni ; il s'est recouvert en ces points d'une mince couche d'oxyde de zinc provenant de l'humidité de la peau qui les touchait et même de la vapeur d'eau répandue dans l'air. Il est vrai que ce zinc est chargé de fluide positif, tandis que l'oxydation devrait, comme nous l'avons dit plus haut, lui donner le fluide négatif. Mais cette difficulté n'est pas insurmontable, comme de La Rive l'a prouvé par des considérations dont toutefois nous ne voulons pas assumer la responsabilité.

MM. Ayrlon et Perry, Pollat, Van Zohn et Brown ont fait une série d'expériences ayant pour but d'expliquer pourquoi l'électricité se développe au contact de deux métaux hétérogènes, et M. Brown a déduit de ces expériences les conclusions suivantes :

« La différence du potentiel de deux métaux en contact, mesurée électrostatiquement, est due à l'action chimique des couches de vapeur ou de gaz condensées à la surface des métaux.

« Les deux métaux et leurs couches adhérentes peuvent être comparés à une pile ayant les mêmes métaux comme électrodes, et les deux couches liquides ou demi-liquides comme électrolytes, celles-ci étant séparées par un diaphragme isolant d'air ou de gaz. »

5^e La chaleur. En dilatant les corps, la chaleur met en mouvement leurs molécules, les heurte les unes contre les autres, et doit, par conséquent, donner lieu à des phénomènes électriques pareils à ceux qui sont dus au frottement. C'est ce que l'on constate très facilement dans les cristaux, corps non homogènes, dans lesquels la chaleur se distribue inégalement, de manière qu'elle permet la séparation des électricités produites. Les phénomènes de ce genre sont exposés surabondamment plus loin. Nous avons d'ailleurs, au mot COURANT, parlé de l'électricité qui se dégage de la soudure chauffée de deux métaux, électricité qui donne naissance à la classe des courants thermo-électriques.

6^e Les corps vivants. Si les phénomènes chimiques et calorifiques sont des sources de fluides électriques, il est évident que les corps d'animaux, dans lesquels s'accomplissent tant d'actions chimiques et desquels il se dégage incessamment tant de chaleur, doivent être le siège d'une abondante production d'électricité. C'est ce qui a lieu en effet, et cette électricité a été assez improprement appelée par quelques auteurs *électricité animale*.

Les anciens connaissaient très bien les secousses étourdissantes que communique le poisson appelé *torpille*, mais ils en ignoraient la cause. C'est Muschenbroeck (1748) qui eut l'idée de comparer l'effet de la torpille à celui de la bouteille de Leyde, alors récemment découverte, et d'attribuer à la décharge des fluides électriques une propriété qu'on rapportait volontiers à la magie. On connaît aujourd'hui huit espèces de poissons électriques : le *gymnote*, qui vit dans l'Orénoque et ses affluents ; la *silure électrique*, au Sénégal et dans le Nil ; le *tétrodon électrique* et le *trichure électrique*, dans la mer des Indes, et enfin quatre espèces de *torpilles*, qu'on trouve surtout dans la Méditerranée.

Les poissons ne sont pas les seuls animaux qui donnent de l'électricité. Nobili, répétant l'expérience de Galvani, fit voir en 1827 que, si l'on met en contact direct les muscles d'une grenouille avec ses nerfs, les muscles prennent le fluide négatif et les nerfs le fluide positif (v. COURANT). Matteucci tira de l'électricité des muscles seuls. Enfin M. du Bois-Reymond est allé chercher de l'électricité et en a trouvé jusque dans le corps humain. Lorsqu'on serre fortement les poings, il en résulte une contraction de tout le bras, qui produit une quantité d'électricité très appréciable au rhéomètre. Le même M. du Bois-Reymond s'est appliqué des vésicatoires sur les faces dorsales des deux bras pour en détacher l'épiderme qui, en qualité de mauvais conducteur, s'oppose à la sortie de l'électricité. Il mit ensuite les parties dénudées en contact avec les lames du rhéomètre et il obtint une déviation de 60 à 70°, tandis qu'elle n'était que de 3^e ou plus avant l'ablation de l'épiderme.

La vie végétale, dans la germination, dans la circulation de la sève, dans la respiration des feuilles, présente aussi des phénomènes chimiques et calorifiques qui sont autant de sources d'électricité.

Théorie des deux fluides électriques.

— Pour expliquer les phénomènes électriques, on a admis l'existence de deux fluides. Cette théorie n'a rien pas été abandonnée par l'Université, nous croyons devoir l'exposer. Nous ne rappellerons pas ici l'expérience par laquelle on vérifie la double nature de

l'électricité; mais, comme l'espèce du fluide développé sur le verre ou sur la résine dépend encore de la nature du corps avec lequel on a frotté ces deux substances, nous croyons devoir rappeler que : *l'électricité vitrée (ou positive) est celle qui se dégage sur le verre, et l'électricité résineuse (ou négative) celle qui se dégage sur la résine, quand on les frotte avec de la laine (fig. 3).*

Il est à remarquer que les deux électricités naissent toujours ensemble, l'une sur le corps frotté, l'autre sur le corps frottant. Seulement, pour qu'on



Fig. 3.

puisse les reconnaître, il faut que les deux corps soient isolés. Un même corps, frotté avec la même substance, peut s'électriser positivement ou négativement, suivant l'état de sa surface. C'est ainsi que le verre, frotté avec du drap, s'électrise positivement ou négativement, suivant qu'il est poli ou dépoli. La chaleur donne

aux corps une tendance à prendre le fluide négatif. Il serait, au reste, trop long d'énumérer toutes les circonstances qui, soit isolées, soit réunies, peuvent exercer une certaine influence sur l'espèce d'électricité que dégage sur chacun d'eux le frottement de deux corps.

Dans la théorie des deux fluides, dite de Symmer, électriser un corps, c'est séparer les deux fluides qui, par leur combinaison, l'électricité neutre qu'il contient. Quand cette séparation est effectuée, le corps est électrisé positivement ou négativement, suivant que c'est le fluide positif ou le fluide négatif qui domine et dont l'action se manifeste à l'extérieur.

L'idée des fluides est ingénieuse, elle facilite le langage, mais elle n'est pas nécessaire. Elle a été abandonnée par les electriciens modernes et remplacée par l'extension des grands principes de la mécanique qui permettent, à l'aide de quelques lois expérimentales, d'établir des relations importantes entre les phénomènes sans en connaître la nature intime. (V. aux mots FLUIDE ÉLECTRIQUE et CORRÉLATION DES FORCES PHYSIQUES.)

Électrisation par influence. — Un corps électrisé détermine à distance une décomposition du fluide neutre dans les corps environnants. repousse l'électricité qui est de même nature que celle

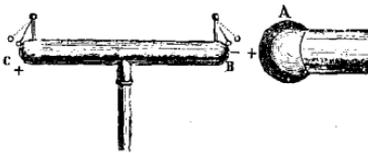


Fig. 4.

dont il est chargé et attire l'autre. Cette action est désignée sous le nom d'*électrisation par influence* ou *induction électrique* (quelques auteurs disent *induction électrostatique*).

A (fig. 4) représente une pièce métallique électrisée positivement et BC un cylindre bon conducteur,

dont les extrémités sont surmontées de pendules électriques. Sous l'action de la pièce A, on voit les pendules diverger, ce qui prouve que les extrémités A et B sont électrisées; et si l'on approche successivement de B et de C un bâton de résine électrisé positivement, on constatera que le bâton attire le pendule B et repousse l'autre : l'électricité de B est donc négative et celle de C positive, comme l'indiquait d'avance la règle énoncée. Aussitôt que le corps A est éloigné, les pendules retombent sur le conducteur et celui-ci revient à l'état naturel.

Pendant que le corps A agit pour décomposer le fluide neutre de BC, les électricités déjà accumulées en B et en C, étant de nom contraire, tendent à se réunir; à un certain moment, leur attraction mutuelle contrebalancera complètement l'action décomposante du fluide A : *l'électrisation par influence a donc une limite.*

Si l'on fait communiquer le cylindre BC avec le sol pendant que la décomposition a lieu, le pendule C retombe et le pendule B s'écarte au contraire davantage du cylindre. Cela prouve que le fluide positif de BC, toujours repoussé par l'action de A, a passé dans le sol; tandis que le fluide négatif, débarrassé de l'attraction de C, et de plus, accru par le fait d'une nouvelle décomposition de l'électricité neutre, s'est rapproché davantage de l'extrémité B.

Lois des attractions et des répulsions électriques.

1° Mettons en présence d'un corps électrisé A (fig. 5) un autre corps B, électrisé aussi, mais mauvais conducteur. L'électricité de celui-ci ne pouvant se déplacer, le corps B sera forcé de suivre le mouvement du fluide qu'il contient; il sera attiré ou repoussé en même temps que ce fluide, dans le vide comme dans l'air.

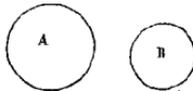


Fig. 5.

2° Supposons que le corps électrisé B soit non conducteur et qu'il soit chargé de la même électricité que le corps A (fig. 6). Son fluide se portera en n; et, si l'expérience est faite dans le vide, il s'y perdra sans que le corps B reçoive aucun mouvement. Mais si l'expérience est faite dans l'air, qui est mauvais conducteur (sauf s'il est humide), le fluide s'arrêtera en n, s'y accumulera et y exercera une pression contraire à la pression que l'air exerce sur le corps. La pression de l'air sur le corps sera donc moindre en n qu'en m, et, en vertu de la différence, le corps B paraîtra repoussé par le corps A.

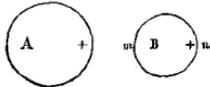


Fig. 6.

3° Nous avons supposé que le corps électrisé B ne contenait qu'une seule espèce d'électricité. Examinons le cas où il serait à l'état neutre et soumis à l'action d'un corps A (fig. 7) chargé, par exemple, d'électricité positive. L'électricité positive qui est en n, étant plus loin du corps agissant que l'électricité négative qui est en m, en reçoit plus faiblement l'action et est, par conséquent, moins re-

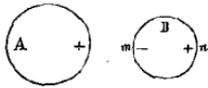


Fig. 7.

poussée que celle-ci n'est attirée. Donc le corps, obéissant à la résultante des deux efforts, sera attiré, et cela même dans le vide. Si le corps B n'est pas isolé, l'attraction sera beaucoup plus énergique, parce qu'elle ne sera plus contrariée par la répulsion de l'électricité positive qui se sera écoulée dans le sol.

Ces considérations forment la base de toutes les explications par lesquelles on rend compte du mouvement des fluides électriques, ainsi que des attractions et des répulsions manifestées par les substances électrisées.

S'il est ordinairement facile de démêler le sens des attractions et des répulsions électriques, il n'en est plus de même lorsqu'on cherche à en évaluer l'intensité. Les forces qu'on veut mesurer sont, dans nos laboratoires, à peine appréciables et, de plus, elles diminuent graduellement pendant les expériences, puisque les corps perdent à chaque instant, comme nous le verrons tout à l'heure, une partie de leur électricité. Épinus soupçonnait qu'elles devaient se comporter d'après les lois de la gravitation universelle. Hauksbée, Taylor, Dufay, Musschenbroeck tentèrent vainement de les mesurer. Coulomb découvrit les lois de variation de ces forces et les démontra au moyen de sa balance de torsion. Il constata que les attractions et répulsions qu'exercent l'un sur l'autre deux corps électrisés sont inversement proportionnelles aux carrés des distances et directement proportionnelles aux produits des quantités d'électricité répandues sur ces deux corps.

Pour réunir ces deux lois dans une même formule, désignons par f une force électrique attractive ou répulsive s'exerçant à l'unité de distance entre deux corps ayant reçu des charges électriques égales à l'unité. A la distance d , et pour des charges c et c' , l'action sera

$$\frac{cc'}{d^2},$$

formule identique, comme le prévoyait Épinus, à celle de l'attraction newtonienne.

Déperdition de l'électricité. — Les corps électrisés perdent, quoique isolés, une portion de leur électricité au bout d'un certain temps. Ce n'est là, du reste, qu'une conséquence du développement de l'électricité par contact : l'électricité des corps se porte en partie sur l'air environnant et sur les isolaires eux-mêmes, qui n'isolent jamais d'une manière absolue. C'est Coulomb qui a trouvé la loi de la déperdition de l'électricité.

Afin de n'être pas embarrassé par la simultanéité d'action des deux causes qui occasionnent la déperdition de l'électricité, Coulomb fit de nombreuses expériences pour ranger tous les isolaires en deux catégories : ceux qui ont la même conductibilité que l'air et ceux qui ont une conductibilité différente. Il commençait par soulever, au moyen d'un isolaire donné, la balle fixe de la balance, et, après l'avoir électrisée, il mesurait la diminution de la force répulsive. Ensuite il recommençait plusieurs fois l'expérience, mais en faisant soutenir la même balle par 2, 3, 4... isolaires de même substance que le premier. Si, à chaque fois, la diminution de la force répulsive restait la même, cela prouvait que la substance essayée avait la même conductibilité que l'air dont elle tenait la place. Coulomb fut ainsi conduit à reconnaître que la gomme-laque brune laisse échapper juste autant d'électricité que l'air sec, et dès lors il put aisément tenir compte de la perte par ce genre de support.

Déperdition par l'air. — Supposons les deux boules de la balance de Coulomb parfaitement identiques et portées par des supports tels que la déper-

dition d'électricité qu'ils occasionnent soit la même que celle qui se fait par l'air. Mettons-les en contact l'une et l'autre et électrisons-les : nous observerons une certaine répulsion, et, en tournant le micromètre de la balance de l'angle θ_0 , nous amènerons la boule mobile à être à une distance angulaire a de la boule fixe. Soit $T_0 = a + \theta_0$ la torsion du fil ; ce sera la torsion initiale correspondant au temps t_0 . Tournons ensuite le micromètre dans le sens opposé, de manière à diminuer la torsion, et observons. La boule mobile sera d'abord repoussée à une distance de la boule fixe plus grande que a ; mais en raison de la déperdition qui s'effectue, il arrivera un moment où elle sera de nouveau à une distance angulaire a de la boule fixe. Soient t_1 cet instant et $T_1 = a + \theta_1$ la torsion correspondante. Diminuons encore la torsion de manière à la rendre égale à $a + \theta_2$; notons de même l'époque t_2 , à laquelle l'écart des deux boules se réduira à a , et ainsi de suite, nous formerons une table telle que

$$\begin{array}{ll} T_0 = a + \theta_0 & t_0 \\ T_1 = a + \theta_1 & t_1 \\ T_2 = a + \theta_2 & t_2 \\ T_n = a + \theta_n & t_n \end{array}$$

qui nous permettra de découvrir la loi.

Coulomb, voyant une certaine analogie entre les lois empiriques que pouvait fournir le tableau de ses expériences et celles du refroidissement, fut conduit à examiner les rapports

$$\frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2}, \quad \frac{T_1 - T_0}{t_1 - t_0}, \dots$$

de la diminution moyenne de torsion dans l'unité de temps à la torsion moyenne, et trouva que ces rapports avaient des valeurs d'autant plus sensiblement égales que les temps employés étaient plus petits. Il admit qu'à la limite ce rapport était rigoureusement constant, et, développant cette hypothèse, il arriva à une formule que l'on établit de la manière suivante :

Soient T la torsion à un moment donné t , et $T + \Delta T$ cette même torsion à l'instant $t + \Delta t$. La perte de torsion pendant l'intervalle de temps Δt est égale à ΔT , de sorte que $-\frac{\Delta T}{\Delta t}$ est l'accroissement moyen de torsion pendant l'unité de temps ; d'un autre côté, la torsion moyenne dans cet intervalle est $T + \frac{\Delta T}{2}$, et l'hypothèse de Coulomb consiste en ce que :

$$\lim \left(\frac{-\frac{\Delta T}{\Delta t}}{T + \frac{\Delta T}{2}} \right) = \text{const.} = a.$$

Or, $-\frac{\Delta T}{\Delta t}$ à la limite est la dérivée de la fonction qui exprime la torsion T en fonction du temps t ; on a donc, en appelant T' cette dérivée et négligeant $\frac{\Delta T}{2}$ devant T ,

$$\left(-\frac{T'}{T} \right) = a, \text{ d'où } LT + at = \text{constante.}$$

Telle serait la loi des torsions.

Pour déterminer la constante, supposons la formule vérifiée pour une torsion initiale T_0 dépendant au temps initial t_0 ; nous aurons

$$LT_0 = -at_0 + \text{const.}$$

d'où

$$L \frac{T - T_0}{T_0} = -a(t - t_0) \text{ et } T - T_0 = -a(t - t_0),$$

On voit que l'hypothèse faite par Coulomb conduit à cette loi : *Les deux boules restant à une distance constante, les torsions décroissent en progression géométrique quand les temps croissent en progression arithmétique.*

La vérification de cette loi est facile et réussit pleinement.

La loi des torsions est donc

$$T = T_0 e^{-a(t-t_0)}$$

Mais les torsions peuvent servir de mesure aux forces répulsives; on peut donc poser

$$F = F_0 e^{-a(t-t_0)}$$

D'un autre côté, comme la distance des deux boules demeure constante, et que les deux boules sont parfaitement identiques, si q_0 et q sont les quantités d'électricité qui se trouvent sur ces boules lorsque les forces répulsives sont F_0 et F , on a

$$F_0 = kq_0^2,$$

$$F = kq^2,$$

$$\text{d'où} \quad q = q_0 e^{-a\left(\frac{t-t_0}{2}\right)}$$

Telle est la loi de la déperdition. Coulomb a opéré à des distances angulaires inférieures très variables et a trouvé que la valeur de a restait la même; il en a conclu que, pour deux boules parfaitement isolées et placées n'importe comment, la loi des déperditions est la même que celle que nous venons de trouver dans le cas de deux boules placées à une distance angulaire déterminée. Au reste, s'il en est ainsi, on pourra avoir une confirmation des lois précédentes en enlevant la boule fixe de la balance de torsion et en lui laissant perdre son électricité loin de la boule mobile. Si on la replace dans la balance, on devra avoir la même torsion après le temps écoulé que si la boule était restée en présence de la boule mobile.

Voici comment on peut faire l'expérience. La boule fixe étant introduite dans l'appareil, on note à l'instant t_0 la torsion T_0 , qui est nécessaire pour maintenir la boule mobile à la distance fixe a . Ensuite on enlève la boule fixe de la balance et l'on note l'angle indiqué sur le micromètre. On introduit, au bout de quelque temps, la boule fixe dans la balance, de manière que la boule mobile soit à gauche de sa position d'équilibre, mais ne s'en écarte que d'une très faible distance. Ensuite on observe l'instant où la boule mobile vient se placer à sa position d'équilibre, on note T et t , et on vérifie que la relation

$$T = T_0 e^{-a(t-t_0)}$$

est satisfaite. a a pu être déterminé par une expérience préalable; tant que l'état hygrométrique reste le même, a conserve une valeur constante.

Coulomb avait opéré sur l'électricité positive; Biot compléta ses expériences en opérant sur l'électricité négative; pour des charges moyennes, la loi est la même; pour des charges plus fortes, il semble que l'électricité négative se perde plus rapidement.

Maintenant que l'on connaît la méthode générale employée pour la déperdition, il est facile de chercher si les boules sont dans un état parfait d'isolement. Pour cela, on commence par suspendre la boule fixe à l'extrémité d'un support aussi fin que possible; on suspend ensuite la boule au moyen de deux supports identiques, et l'on voit si la loi que suivent les torsions est exactement la même que dans le cas précédent. Si la loi est la même, on en conclut que,

dans la première expérience, la boule mobile peut être considérée comme parfaitement isolée, et on peut regarder le support comme ne contribuant pas à la déperdition de l'électricité, car autrement la déperdition avec deux supports aurait dû varier. C'est ainsi qu'on reconnaît par des expériences préalables que les supports sur lesquels on opère sont vraiment dans un état d'isolement parfait.

Coulomb a remarqué que, pour des supports de même nature, l'état d'isolement de la boule électrisée dépend de l'électricité développée sur elle. Il plaça la boule mobile à l'extrémité d'un support parfaitement isolant et disposait la boule fixe à l'extrémité du support non isolant. Il répétait les opérations en procédant de la même manière que dans le cas de la déperdition par l'air. Il conservait constante la distance angulaire a qui séparait les deux boules, et notait les torsions

$$T_0, T_1, T_2, \dots$$

correspondantes aux temps

$$t_0, t_1, t_2, \dots$$

ensuite il formait les différents rapports

$$\frac{T_0 - T_1}{T_1 - T_2}, \quad \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3},$$

$$\frac{t_1 - t_0}{T_0 + T_1}, \quad \frac{t_2 - t_1}{T_1 + T_2},$$

auxquels il trouvait une valeur constante plus grande que celle du rapport correspondant observé dans la déperdition par l'air en supposant l'isolement parfait.

Soit T_n la torsion à partir de laquelle l'isolement commence à être parfait; cherchons à déterminer l'instant correspondant au moyen de la formule relative à la déperdition par l'air. Si l'on suppose que, dans l'intervalle des observations, la déperdition ait lieu par l'air sec, on doit avoir

$$T_n = T_0 e^{-a(t_n - t_0)} \quad \text{et} \quad a = \frac{T_0}{T_n} \times \frac{t}{t_n - t_0}$$

On pourra donc calculer l'instant auquel la boule fixe est parfaitement isolée. Une fois ce temps connu, il restera à déterminer la quantité d'électricité qui se trouve sur la boule fixe à l'instant t_n . Pour cela, reportons-nous aux conditions d'équilibre fournies par l'expérience; les boules étant égales, lorsque la boule fixe a touché la boule mobile, elles ont partagé également l'électricité, et si q_0 est une charge connue, en appelant F_0 la force répulsive qui se manifeste, nous aurons

$$cT_0 = F_0 l \cos \frac{a}{2};$$

ou la force F_0 peut se déterminer d'après les lois de Coulomb, et on a :

$$F_0 = \frac{f l^2}{4l^2 \sin^2 \frac{a}{2}}$$

d'où

$$T_0 = \frac{f \cos \frac{a}{2}}{c l \sin^2 \frac{a}{2}} q_0^2,$$

c'est-à-dire que

$$F_0 = kq_0^2.$$

Ceci a lieu au début. Mais à l'instant t_n , où l'isolement de la boule devient parfait, la torsion correspondante T_n est proportionnelle au produit des

quantités d'électricité des deux boules. Or, sur la boule fixe, la quantité d'électricité est x ; sur la boule mobile parfaitement isolée, la quantité d'électricité q_n , qui reste à l'instant t_n , est connue en fonction de la quantité initiale q_0 , et du temps $t_n - t_0$ qui s'est écoulé; enfin le coefficient de déperdition α est donné par la formule :

$$q_n = q_0 e^{-\frac{\alpha}{2}(t_n - t_0)}$$

et par suite on aura :

$$T_n = kxq_n$$

on

$$T_n = kxq_0 e^{-\frac{\alpha}{2}(t_n - t_0)}$$

et de là la valeur de x :

$$x = \frac{1}{k} T_n e^{\frac{\alpha}{2}(t_n - t_0)} \times \frac{1}{q_0}$$

Or, on a $T_0 = kq_0^2$; d'où l'on tirera, en substituant :

$$x = \frac{1}{k} T_n e^{\frac{\alpha}{2}(t_n - t_0)} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{T_0}{k}}}$$

Dans cette expérience, x sera connue en fonction de quantités qui sont toutes déterminées à l'exception de k qu'on éliminera par une nouvelle expérience, et l'on aura :

$$x' = \frac{1}{k} T_n e^{\frac{\alpha}{2}(t_n - t_0)} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{T_0}{k}}}$$

ce qui permettra d'éliminer k .

Distribution de l'électricité à l'intérieur et à la surface des corps. — L'électricité naturelle paraît se uniformément répartie dans toute la masse des corps conducteurs; mais dès qu'un des deux fluides dont elle est composée est libre, c'est-à-dire séparé de l'autre, il doit réagir sur lui-même par la force répulsive de ses molécules, et celles-ci doivent tendre à se disperser jusqu'à ce qu'elles soient arrêtées et maintenues par la rencontre d'un obstacle. C'est, en effet, ce que l'expérience vérifie : l'électricité libre se répand et reste à la surface des corps. Sur un support isolé (fig. 8), Faraday fixait un anneau de métal AB auquel était attaché un sac conique en mousseline. Un fil de soie placé dans l'axe du cône permettait de le retourner. Quand cet appareil est électrisé, on reconnaît que toute l'électricité est répandue sur la surface extérieure de la mousseline; on retourne le sac, et aussitôt la face intérieure, devenue extérieure, se charge d'électricité; l'autre, qui portait tout le fluide, n'en présente plus la moindre trace.

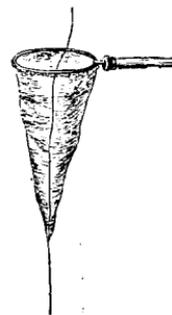


Fig. 8.

Quand l'électricité est ainsi accumulée à la surface

des corps conducteurs, elle tend, en vertu de sa force répulsive continue, à la quitter, à abandonner le corps; c'est ce qui arrive dans le vide et dans l'air humide. Mais, quand l'air est suffisamment sec, l'électricité fait effort contre lui pour s'échapper. C'est cet effort que l'on a appelé *tension électrique*. Comme la tension électrique varie avec la quantité de fluide développé, on admet que ce fluide forme une couche ayant une certaine épaisseur, uniforme à la surface des corps sphériques, variable sur différents points de la surface pour tous les corps qui ne sont pas sphériques. Laplace a déduit de formules analytiques cette proposition : *La tension électrique en un point est proportionnelle au carré de l'épaisseur de la couche d'électricité.*

Si un conducteur de forme sphérique est chargé d'électricité, il est évident, par la seule raison de symétrie, que la couche électrique doit être également épaisse en tous les points de la surface. Mais il n'en est pas de même si la forme du corps conducteur n'est pas sphérique; c'est ce que Coulomb est parvenu à établir au moyen de son plan d'épreuve. Cet appareil consiste tout simplement en un petit disque de papier doré, fixé à une lige isolante de gomme laque. Si ce petit disque est posé lentement sur une surface électrisée, puis retiré perpendiculairement, il se charge sur chaque face d'une épaisseur électrique proportionnelle à celle que possédait la portion de surface soumise au contact. Si alors on le porte dans la balance de torsion, dont l'aiguille mobile a été chargée d'avance de la même espèce d'électricité, il y opère absolument comme ferait, si elle y était transportée, la portion de surface qu'il recouvrait; l'aiguille s'écarte et l'angle de torsion mesure la répulsion exercée. Puis, sans modifier la charge de l'aiguille, on la ramène à la position qu'elle occupait avant l'expérience, on touche avec le plan d'épreuve un autre point du corps et on l'introduit comme précédemment dans la balance. On a une deuxième répulsion et, par conséquent, un deuxième angle de torsion. Les angles de torsion ainsi successivement observés sont entre eux comme les charges du plan d'épreuve, lesquelles sont elles-mêmes proportionnelles aux tensions électriques sur les points touchés. Afin d'atténuer les causes d'erreurs provenant de la déperdition du fluide, Coulomb opérait par un temps très sec et desséchait encore l'intérieur de la balance en y plaçant une cuvette remplie de chaux vive. Les résultats de ces délicates et patientes expériences se sont trouvés d'accord avec ceux que Poisson a déduits de l'analyse. Nous regrettons que la longueur du travail de ce géomètre ne nous permette pas de l'exposer avec quelques développements. Nous nous bornons à transcrire la courte analyse que M. Jamin en a donnée.

Les premières expériences de Coulomb, dit M. Jamin, ayant démontré que les attractions et les répulsions électriques sont en raison directe des quantités d'électricité et inverse du carré des distances, Poisson a accepté cette loi, qui est toute la base de sa théorie. En second lieu, il fait remarquer que, si un conducteur est chargé d'électricité libre en équilibre, il faut nécessairement que l'action de tout ce fluide sur un point intérieur soit nulle; car si elle ne l'était pas, il se ferait en ce point une attraction et une répulsion sur chacun des deux fluides qui s'y trouvent réunis, et ils se sépareraient; l'équilibre n'aurait donc lieu que si cette condition est réalisée. Voyons quelles sont les conséquences dans un cas particulier, celui de la sphère.

Imaginons, dans l'intérieur de cette sphère, des couches sphériques concentriques et homogènes d'élec-

tricité de même nom. En vertu des lois de l'attraction dans une sphère, elles n'auront aucun effet sur les molécules électriques qui leur sont intérieures et ne produiront de répulsion que sur les parties de fluide situées en dehors d'elles; il suit de là que chaque couche sera repoussée du centre vers la surface par les couches plus profondes et qu'elle ne sera pas retenue dans les enveloppes extérieures. Toutes les couches devront donc venir s'accumuler à la surface extérieure, c'est-à-dire qu'il ne pourra pas rester de fluide libre dans la masse d'un conducteur sphérique. Poisson prouve qu'il en sera de même, quelle que soit la forme que le conducteur affectera, et il explique ainsi ce que l'expérience nous a déjà fait découvrir.

Pour que la couche électrique ne puisse exercer d'action sur un point intérieur, il faut évidemment, si le conducteur est sphérique, qu'elle soit partout également épaisse. Si la forme est celle d'un ellipsoïde, on peut se rappeler que l'attraction ou la répulsion exercée intérieurement par une couche mince comprise entre deux surfaces ellipsoïdales semblables et semblablement placées est nulle; par conséquent, il faudra, pour l'équilibre électrique de l'ellipsoïde, que le fluide soit contenu entre l'enveloppe extérieure du corps et une surface semblable et semblablement placée, décrite dans l'intérieur, à une distance fort petite de la première: d'où il résulte qu'aux extrémités des axes l'épaisseur de la couche doit être proportionnelle à leur longueur. C'est ce qui est justifié par les expériences de Colomb.

On voit ainsi que la théorie mathématique prévoit comment l'électricité doit se porter à la surface des corps, qu'elle explique la distribution égale sur tous les points d'une sphère, et calcule sur un ellipsoïde les rapports des couches électriques aux extrémités des axes. Elle s'applique également bien aux cas les plus compliqués, car le calcul peut toujours déterminer quelle doit être l'épaisseur en chaque point pour que l'action de l'électricité totale soit nulle sur une molécule de fluide intérieur.

Calculs et expériences conduisent à cette remarque générale: la tension électrique est faible sur toutes les parties planes d'un conducteur; elle augmente sur les surfaces ayant un petit rayon de courbure, et enfin devient très grande aux endroits où le conducteur se termine par une pointe. Si la pointe est très aiguë, la tension peut y devenir *infinie*, et alors la résistance de l'air ne peut empêcher le fluide de s'échapper continuellement: de là l'expression *pouvoir des pointes*, imaginée par Franklin, qui croyait que les pointes ont le pouvoir d'attirer le fluide électrique, parce qu'il avait vu la foudre tomber sur elles, tandis que ce pouvoir n'est autre chose que la propriété de laisser écouler l'électricité dont elles sont chargées. On sait que le pouvoir des pointes a son application dans la construction du PARATONNERRE.

Électricité dissimulée. — Concevons, comme dans le condensateur, deux disques conducteurs mis en présence et séparés seulement par une mince lame de verre. Quand l'un de ces disques reçoit du fluide positif et l'autre du fluide négatif, ces deux fluides s'attirent au travers de la lame non conductrice et en pressent les deux faces pour se rejoindre. Pendant qu'ils agissent ainsi l'un sur l'autre, leur action est nulle, ou du moins très faible, à l'extérieur, c'est-à-dire sur les faces qui ne touchent pas la lame de verre. C'est pourquoi on dit alors que ces deux électricités sont *dissimulées* ou *latentes*. Ainsi, une *électricité dissimulée* est celle dont les effets sont neutralisés par l'attraction d'une électricité contraire.

Électricité atmosphérique. — (V. ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE et ATMOSPHÉRIQUE [électricité]).

Électricité dynamique. — L'électricité qui circule dans le fil conjonctif de la pile a été, à cause de son état de mouvement, appelée *électricité dynamique*. Elle a des propriétés particulières, différentes de celles de l'électricité statique, que nous venons d'étudier. Elles sont exposées aux mots COURANT et PILE.

Pour l'analogie de l'électricité avec la chaleur, la lumière, le magnétisme, le mouvement, etc., voir CORRÉLATION DES FORCES PHYSIQUES.

Électricité cinétique. — Nom donné par certains auteurs à l'électricité en mouvement.

Production de l'électricité dans les minéraux. — Les substances minérales offrent, comme les autres corps, la propriété de devenir électriques dans des circonstances déterminées. On ne peut rien dire de général sur la manière dont ces substances acquièrent l'électricité, car les phénomènes varient dans les limites les plus larges, suivant le minéral que l'on observe. Le procédé efficace pour leur donner la vertu électrique, la nature de l'électricité que l'on développe en eux, la facilité plus ou moins grande avec laquelle celle-ci se conserve ou se transmet à d'autres corps, tous ces faits doivent être déterminés d'une manière spéciale pour chacune des substances de la nature. Ainsi, la plupart des minéraux ne s'électrifient que lorsqu'on les a frottés avec un corps choisi, tel qu'un morceau de laine, une peau de chat, etc.; mais il en est qui deviennent électriques lorsqu'on se borne à les presser entre deux doigts; on peut aussi en citer qui le deviennent sous l'influence d'une médiocre élévation de température. De même, tandis que certains minéraux conservent pendant longtemps l'électricité qu'ils ont reçue, d'autres la perdent avec une rapidité très grande. On a remarqué que les minéraux qui sont transparents et incolores à l'état de pureté sont, en général, isolants et acquièrent par le frottement l'électricité positive ou négative. Les substances minérales d'une couleur propre et de nature résineuse sont pareillement isolantes, mais elles prennent par le frottement l'électricité négative ou résineuse. Les substances essentiellement opaques et douées de l'éclat métallique sont conductrices et acquièrent, lorsqu'elles sont isolées et frottées, les unes l'électricité positive, les autres l'électricité négative. On sait d'ailleurs qu'une même substance se charge d'électricité différents suivant le corps frottant dont on fait usage.

Hady, qui a particulièrement insisté sur les propriétés électriques des minéraux, et qui, dans son célèbre *Traité de Minéralogie*, a étudié ces propriétés dans tous leurs détails, Hady obtenait un électroscope positif au moyen d'une aiguille de laiton terminée à l'une de ses extrémités par un globe du même métal et à l'autre extrémité par un petit morceau de chaux carbonatée rhomboédrique ou spall d'Islande bien transparent. Comme on sait, il suffit de faire subir à ce minéral une légère pression entre deux doigts pour lui communiquer la vertu électrique, et l'électricité ainsi produite est positive. Pour avoir un électroscope négatif, Hady se servait d'une aiguille toute de métal, terminée à ses deux extrémités par des sphères métalliques elles-mêmes. Rien n'est plus facile que de constituer cette aiguille convenablement isolée dans un état électrique; il suffit, pour cela, de toucher l'un des bouts avec un bâton de cire d'Espagne frotté avec un morceau de drap ou de laine. Les caractères que l'on constate à l'aide de ces

petits électroscopes peuvent, dans certains cas, servir à distinguer quelques substances. Ainsi, pour ce citer qu'un exemple, la cymophane taillée en cabochon présente à peu près le même aspect que le feldspath nacré appelé vulgairement « pierre de lune » ; mais il est facile de les distinguer au moyen de l'électroscope. En effet, tandis que la cymophane s'électrise par le frottement avec la plus grande facilité, le feldspath, au contraire, ne s'électrise par le même moyen que très difficilement.

Cependant il ne faut pas accorder aux caractères électriques une confiance trop absolue : ils varient, non seulement avec la nature du corps, mais encore avec l'état de ses surfaces. Aussi obtient-on parfois des résultats différents avec des échantillons qui appartiennent non seulement à la même espèce, mais quelquefois à la même variété. On sait, par exemple, que certains cristaux de disthène s'électrisent positivement sur une face et négativement sur une autre. C'est même de là que vient le nom de *disthène* choisi par Haüy, et qui signifie littéralement « qui a deux vertus ».

L'électroscope que nous avons décrit sert aussi à reconnaître si un minéral est isolant ou conducteur. En effet, il suffit pour cela d'approcher le minéral, préalablement frotté, de l'aiguille qu'on a eu soin de laisser à l'état naturel : si le corps est isolant, il aura conservé son électricité, et, dans ce cas, il attirera l'aiguille ; s'il est conducteur, il sera sans aucune action sur elle. Parmi les corps isolants que l'on peut ainsi reconnaître, on remarque de très grandes différences relativement à la faculté conservatrice de l'électricité. Quelques-uns reviennent à l'état naturel après un temps plus long que celui qui est nécessaire aux autres pour perdre leur vertu électrique. Par exemple, le spath d'Islande et la topaze incolore du Brésil ne perdent toute trace d'électricité qu'au bout de plusieurs jours ; au contraire, le diamant et le cristal de roche ne gardent pas leur électricité plus d'un quart d'heure, et l'on pourrait même citer des corps qui perdent toute vertu électrique au bout de quelques instants. On observe aussi que plusieurs minéraux isolants acquièrent des propriétés électriques sous l'influence d'une simple élévation de température. Ces minéraux reçoivent alors le nom de *pyroélectriques*, et l'on appelle *pyroélectricité* l'électricité qu'ils manifestent.

Lorsqu'on étudie ces intéressants phénomènes, on ne tarde pas à reconnaître qu'il existe véritablement deux pyroélectricités très distinctes. La première, qu'on peut appeler *pyroélectricité simple*, consiste dans le développement d'une seule espèce d'électricité sur toute la surface du corps mis en expérience, ainsi que cela aurait lieu par le frottement ou par la pression. On admet que le phénomène est ici tout simplement dû à la tension électrique, dont la chaleur n'est que la cause occasionnelle. On l'observe dans un très grand nombre de minéraux. La seconde pyroélectricité est beaucoup plus rare et reçoit ordinairement le nom de *pyroélectricité polaire*. Elle ne se montre que dans les substances cristallisées et seulement dans celles qui présentent, ainsi que M. Delafosse l'a observé le premier, une hémipédie polaire dans leur structure comme dans leur forme. On comprend dès lors qu'elle doit être peu commune. Elle consiste en ce que certains cristaux, chauffés ou refroidis uniformément, manifestent, tant que leur température est croissante ou décroissante, les deux électricités à la fois, mais sur des points séparés, situés ordinairement aux extrémités d'un même axe et auxquels on peut donner le nom de « pôles électriques ». La pyroélectricité polaire a été observée d'abord

dans les aiguilles de tourmaline et les prismes de topaze Haüy l'a reconnue ensuite dans plusieurs autres substances, telles que la boracite, la calamine et la prehnite. Cet illustre cristallographe l'a étudiée avec beaucoup de soin, et il a découvert une circonstance importante du fait dont il s'agit, savoir : l'existence d'une corrélation entre la différence de nature des pôles électriques et la différence des formes des parties où ils résident. Un physicien contemporain, M. Becquerel, a aussi soumis la pyroélectricité polaire à une étude attentive. Dans les cristaux de tourmaline, comme dans ceux de boracite, il existe toujours une différence de configuration des sommets où résident les pôles de noms contraires, bien que ces sommets correspondent à des parties qui, dans la forme fondamentale, sont géométriquement égales. Nous allons justifier cette assertion. Les cristaux de tourmaline appartiennent au système rhomboédrique, et ont, par conséquent, un axe principal de symétrie. Chauffés ou refroidis, ils acquièrent des pôles, au nombre de deux seulement, qui sont situés aux extrémités de l'axe de cristallisation. Cet axe devient donc aussi un axe électrique, et les sommets correspondants diffèrent en général par leur forme, l'un d'eux présentant toujours un plus grand nombre de facettes que l'autre. Dans les cristaux de boracite, dont la forme ordinaire est le cube, on observe toujours huit pôles et quatre axes électriques, qui se confondent avec les diagonales du cube. Ces pôles ne sont identiques que quatre à quatre, de manière que deux pôles contraires sont toujours diamétralement opposés, et l'on observe encore ici que deux sommets occupés par des pôles de noms contraires ne présentent pas la même configuration. Haüy, qui, pour expliquer ces phénomènes d'apparence bizarre, ne pensait pas à admettre une hémipédie fondée sur des différences de structure moléculaire, considérait les cristaux de tourmaline et de boracite comme dérogeant à la loi générale de symétrie, et cherchait à expliquer cette anomalie par les propriétés électriques. Il supposait que les forces de la cristallisation avaient agi comme à l'ordinaire pour produire les mêmes modifications aux extrémités d'un même axe, mais que cette tendance s'était trouvée contre-balançée par l'action de forces étrangères, qui étaient venues ajouter accidentellement leurs effets à ceux des premières ; et ces forces perturbatrices lui paraissaient devoir être celles qui, sous l'influence de la chaleur, produisaient le développement de l'électricité polaire. Dès lors, la dérogation à la loi de symétrie n'était plus qu'apparente, et il en était de cette loi comme de celle de l'équilibre appliquée à une aiguille de boussole dont les deux bras seraient parfaitement égaux en poids, et qui cependant ne pourraient se maintenir horizontalement si l'on venait à la soumettre à l'aimantation. Frappé de la concomitance de ces deux faits, l'électricité polaire et la dissymétrie, il crut pouvoir les expliquer l'une par l'autre, et par là il ne cherchait réellement qu'à valner la difficulté. Mais, comme le remarque M. Delafosse, que nous ne saurions trop citer relativement à cet important sujet, qu'il a véritablement éclairé d'une lumière toute nouvelle, Haüy ne s'est pas aperçu que, d'après sa manière de voir, l'électricité polaire restait inexplicée. Il la rendait même tout à fait inexplicable, car, dans ses idées, tout était parfaitement semblable sous le rapport de la structure aux extrémités des axes électriques. Dès lors, comment concevoir, dans les parties que l'on suppose identiques, une opposition d'effets comme celle qu'y fait naître le mouvement de la chaleur ? Elle ne peut évidemment s'expliquer qu'en admettant qu'il y ait, vers les deux sommets, une

différence physique consistant, sinon en un changement de nature des molécules, au moins en une relation différente des molécules extrêmes avec les parties de l'espace qu'elles regardent. Or si, au genre de structure adopté par Haüy pour chacune des substances pyroélectriques, on substitue le genre de structure proposé avec tant de raison par M. Delafosse, on reconnaît qu'il existe bien réellement, dans les cubes de boracite comme dans les prismes de tourmaline, une différence physique entre les pôles de noms contraires. En effet, les cristaux de boracite, considérés en eux-mêmes et indépendamment de la pyroélectricité, se modifient exactement comme le font les cubes du système tétraédriques; ils appartiennent donc à ce système, et l'on peut, suivant M. Delafosse, les considérer comme formés d'éléments tétraédriques tellement disposés que toutes les files de molécules sont hétéropolaires, et que, dans un des sommets, les molécules se présentent à l'extérieur par leurs pointes, et dans le sommet opposé par leurs bases. Il y a donc une différence physique entre les sommets, et l'on peut s'appuyer sur elle pour expliquer d'abord l'hémétrie et ensuite l'électricité polaire. « En effet, dit M. Delafosse dans un beau travail inséré dans le recueil des *Mémoires des savants étrangers*, cette différence physique une fois admise, les prétendues anomalies de forme disparaissent; l'hémétrie polaire en dérive tout naturellement; elle n'est qu'une application particulière de la loi générale à certains cristaux dans lesquels la symétrie réelle, basée sur l'identité absolue, diffère de la symétrie apparente, qui se rapporte purement à la forme extérieure. De plus, l'électricité polaire, ce phénomène sur la cause duquel Haüy et les physiciens se sont tus jusqu'à présent, est facile à concevoir. On aperçoit clairement la raison physique de cette singulière propriété, quand on songe aux résistances diverses que doivent offrir aux mouvements des fluides qui produisent la chaleur et l'électricité de parvilles files de molécules, selon que le fluide parcourt le milieu dans un sens ou dans le sens contraire. On n'est plus surpris de rencontrer des propriétés physiques différentes dans des parties de formes semblables à la vérité, mais où les molécules se présentent dans des situations diverses et opposées. Si l'on réfléchit à cette théorie, on voit que, d'après elle, l'électricité polaire et l'hémétrie de même nom n'ont pas entre elles la relation de cause à effet que Haüy leur supposait; ces phénomènes sont les conséquences d'un même fait primordial, qui a échappé à l'illustre cristallographe, l'existence d'une forme et d'une structure telles qu'il en résulte, dans le cristal, des files de molécules à extrémités dissemblables.

Avant de faire connaître les principaux résultats obtenus par les physiciens qui se sont le plus occupés des cristaux pyroélectriques, il convient de faire remarquer que si l'hémétrie moléculaire semble être une condition indispensable de la production des phénomènes pyroélectriques, elle ne paraît pas suffire pour la déterminer, et qu'il faut ici, comme dans d'autres cas où se manifestent les propriétés électriques, ajouter comme condition nouvelle que le minéral soit une substance isolante. On voit, la polarité électrique ne se manifeste pas, du moins jusqu'à présent, dans les cristaux de cuivre gris et de pharmacosidérite, corps assez bons conducteurs.

M. Becquerel a étudié la pyroélectricité polaire chez un certain nombre de corps, au premier rang desquels se place la tourmaline. Il a fait ses expériences à l'aide d'un appareil particulier, consistant en un manchon de verre qui repose sur une plaque de cuivre chauffée au moyen d'une lampe à alcool. Un

fil de cocon, fixé à une potence de laiton et portant une chape de papier, descend dans le manchon, qui contient en outre deux tiges verticales de métal, correspondant aux pôles de noms contraires de deux piles sèches, dont les intensités peuvent être considérées comme constantes pendant la durée d'une expérience. On met la tourmaline dans la chape de papier, et l'on allume la lampe pour chauffer la plaque et l'air intérieur du manchon, dont on connaît la température au moyen d'un thermomètre convenablement placé. A mesure que l'intérieur du manchon s'échauffe, la température de la tourmaline s'élève, et, aussitôt que celle-ci devient électrique, elle se place entre les deux tiges, les deux pôles inversés en regard; si on la dérange de cette position, elle y revient en exécutant une suite d'oscillations, dont le nombre, dans un temps donné, sert à déterminer l'intensité de l'électricité. Voici les résultats obtenus avec une tourmaline brune, légèrement translucide, de 0m,03 de longueur et de 0m,003 de diamètre : à 50°, la polarité électrique a commencé à être sensible et le cristal s'est placé entre les deux tiges; elle a continué jusqu'à 150° et même au delà; on a éteint la lampe; la température est montée encore pendant quelques instants, à cause de la chaleur acquise par la plaque métallique; mais aussitôt elle est devenue stationnaire : la polarité a disparu alors et a reparu en sens inverse dès que la température a commencé à baisser. Il résulte des études entreprises sur les tourmalines que ce minéral n'est électrique que pendant que sa température varie; quelle que soit cette température, tant qu'elle reste stationnaire, il n'y a aucun signe d'électricité. Quand une tourmaline s'échauffe également dans toute sa longueur, elle prend l'électricité polaire, c'est-à-dire qu'une de ses moitiés est électrisée positivement et l'autre négativement. Au moyen d'un petit PLAN d'ÉPREUVE, on peut s'assurer que la charge va en diminuant des extrémités au milieu où se trouve un espace neutre. Pendant le refroidissement, l'état électrique est inverse. Le changement de pôles se fait pendant l'instant où la température reste stationnaire, avant de décroître. Ces faits, que nous avons déjà signalés, ont été découverts par Canton et étudiés par Bergmann. La tourmaline présente ordinairement la forme d'un prisme à six pans, terminé à une extrémité par trois facettes obliques et à l'autre par six. Haüy a remarqué que c'est à la première extrémité que se trouve le fluide positif pendant que l'on chauffe. M. Riess et les physiciens allemands nomment *pôle homologue* l'extrémité de la tourmaline qui prend le fluide répulsé par le même signe que la variation de température, c'est-à-dire qui prend le fluide positif pendant que la température augmente et le fluide négatif pendant qu'elle diminue. Ainsi le pôle à trois faces de la tourmaline est le *pôle homologue*; l'autre pôle se nomme *pôle antilogue*; il prend l'électricité représentée par le signe contraire à celui qui indique le sens de la variation de température. Quand la moitié seulement du prisme s'échauffe ou se refroidit, cette moitié seule présente l'électricité qui lui correspond; l'autre reste à l'état neutre. Il est probable que, dans ce cas, le fluide contraire à celui que l'on observe s'est porté dans les couches intérieures du cristal, où la température est différente de celle qui existe à l'extérieur. Si l'une des moitiés est chauffée pendant que l'autre est refroidie, les deux extrémités présentent la même espèce d'électricité. Ce résultat, constaté par Bergmann, découle de ceux qui précèdent. Il y a de grandes différences entre les tourmalines relativement aux propriétés électriques. On en trouve qui ne peuvent devenir électriques par la chaleur et d'autres qui

ne le sont que lorsque le changement de température est très rapide. Enfin, les propriétés pyroélectriques disparaissent à 150°. M. Gauguain a trouvé l'explication de la limite supérieure : à 150°, la tourmaline est un très bon conducteur de l'électricité; si donc les électricités s'y séparent, elles se recombinent aussitôt. C'est quelque chose d'analogue à ce qui se passe, sans doute, dans le cuivre gris et dans la pharmacosidite, que nous avions tout à l'heure l'occasion de citer. Canton a découvert que si l'on brise transversalement une tourmaline en voie de refroidissement, chaque fragment présente deux pôles opposés, comme lorsqu'on brise un aimant. Les plus petites parcelles possèdent la faculté de s'électriser par la chaleur. Brewster, ayant pulvérisé une tourmaline, vit les parcelles adhérer à une lame de verre chauffée et se grouper en obéissant à leurs attractions mutuelles lorsqu'on imprimait de petites secousses à la lame.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que, dans les cristaux pyroélectriques, les pôles étaient toujours placés à l'extérieur, aux deux extrémités d'un même axe; c'est, en effet, le seul cas de pyroélectricité qui ait été admis pendant longtemps et celui auquel se rapportent toutes les lois énoncées plus haut. Mais on doit à MM. Riess et Gustave Rose la connaissance d'un cas de pyroélectricité tout différent, qu'ils ont reconnu dans les cristaux de topaze et de prehnite. Ces cristaux sont des prismes droits, à base rhombale. Là les pôles électriques ne sont pas tous situés à la périphérie; les uns sont extérieurs, les autres centraux. Si dans la topaze, qui se clive facilement parallèlement à la base, on observe l'état électrique du rhombe terminal, on trouve que les angles aigus de ce rhombe sont dans l'état naturel, tandis que les angles obtus sont électrisés de la même manière, occupés par conséquent par des pôles de mêmes noms, qui, dans les deux substances, sont des pôles antipolaires. Les pôles opposés à ceux-ci se trouvent au centre du rhombe, dans l'axe du cristal. Il y a donc, dans ce cas, deux axes électriques coïncidant chacun avec une moitié de la petite diagonale, et dirigés en sens inverse, de manière que leurs pôles analogues se confondent à l'intérieur. Entre chaque pôle extérieur et le pôle intérieur opposé se trouve un point neutre ou indifférent. Ces centres d'action intermédiaires rappellent les points correspondants qu'on observe quelquefois dans les barreaux aimantés. Ce que nous venons de dire de la base supérieure du cristal serait vrai de la base inférieure, comme aussi de toute section faite entre ces deux bases; en sorte que, dans ces cristaux, ce ne sont plus des pôles isolés, mais des lignes ou séries linéaires de pôles, qui résultent de l'action de la chaleur, et les deux arêtes longitudinales obtuses sont électrisées de la même manière en tous les points, tandis que l'axe central et vertical présente, dans toute sa longueur, une électricité contraire à celle des arêtes.

D'après les faits qui précèdent, il y a lieu maintenant de distinguer deux cas différents de pyroélectricité polaire : celui des cristaux à pôles tous extérieurs ou extra-polaires, seul cas qui soit en relation nécessaire avec l'hémédrisme polaire ou tétraédrique, et le cas des cristaux à pôles en partie extérieurs et en partie centraux (cristaux centra-polaires), qui dépend sans doute d'une modification particulière de la structure interne, mais ne s'annonce pas, comme le précédent, par des caractères tirés de la configuration extérieure.

La pyroélectricité polaire est, comme on vient de le voir, une propriété qui ne se montre que dans

un nombre très restreint de substances cristallisées. Il est une autre propriété électrique beaucoup plus générale, qu'on peut aussi étudier dans les cristaux, et qui lémoigne encore de l'influence qu'exerceent la forme et la structure moléculaire sur tous les caractères physiques : c'est la conductibilité électrique superficielle, c'est-à-dire le pouvoir conducteur, inégal suivant la direction rapportée aux axes cristallographiques, que possèdent les surfaces des cristaux. M. Wiedemann, qui, en 1849, a mis ce sujet à l'étude, s'est servi d'un procédé très simple d'expérimentation. On saupoudre une plaque de verre ou de résine d'une poussière très peu conductrice, telle que celle du lycopode, le minium, etc.; on fixe normalement à une plaque, au moyen d'un support convenable, une aiguille à coudre, la pointe en bas; on électrise cette aiguille en la touchant avec le bouchon d'une bouteille de Leyde électrisée positivement. La poudre s'écarte uniformément de la pointe électrisée dans tous les sens; il en résulte une surface neuve circulaire, traversée par des rayons. En substituant à la lame de verre la face d'un cristal, une lame de gypse, par exemple, la poussière ne s'écarte plus uniformément dans tous les sens de la pointe; elle s'éloigne surtout dans deux directions diamétralement opposées et moins dans les directions normales à celle-ci. L'aire découverte est à peu près elliptique, et le rapport du grand axe au petit est comme 2 ou 3 est à 1. Cette expérience prouve que, sur le gypse, l'électricité se met plus facilement dans un sens perpendiculaire à l'axe principal que dans toute autre direction. Si l'on opère sur l'électricité négative, les figures sont très petites et mal définies. En soumettant à l'expérience un certain nombre de cristaux, on a reconnu qu'avec la strontiane sulfatée, sur une lame parallèle au clivage, le grand diamètre de la figure électrique se confond avec la petite diagonale du parallélogramme formé par les deux clivages inclinés l'un sur l'autre de 78°. La baryte sulfatée se comporte de même; sur les faces d'un prisme d'arragonite la figure électrique est allongée dans le sens de l'axe principal. Avec le quartz l'expérience ne réussit que sur des faces parfaitement unies; la figure produite est nettement allongée normalement à l'axe principal, etc. Enfin, l'électricité se répand plus facilement parallèlement à l'axe principal sur l'arragonite, l'apatite, le spath calcaire et la tourmaline; au contraire, elle se propage avec plus de facilité normalement à cet axe sur l'actéate de chaux ou de chaux, la strontiane sulfatée, la baryte sulfatée, le gypse, le feldspath et le lépidote.

Dans l'année même où M. Wiedemann publiait les résultats que nous venons de rapporter, M. de Sénarmont s'occupait d'expériences relatives au même sujet. La méthode employée par le savant français est très simple : on colle une feuille d'étain percée d'un trou circulaire sur la surface plane d'un corps mauvais conducteur, de manière à la recouvrir entièrement. On place, normalement au centre de l'ouverture circulaire de l'armature et sur la surface même du corps, une pointe métallique isolée, mise en communication avec une source d'électricité. Quand celle-ci fonctionne, l'électricité ne peut s'écouler qu'en se dirigeant vers la circonférence, sur une surface non conductrice. En supposant cette surface parfaitement homogène, il n'y a pas de raison pour que l'électricité se porte sur tel ou tel point de la circonférence; mais il n'en est pas ainsi : par suite d'arrangements moléculaires, les diverses parties superficielles ne possèdent pas la même conductibilité. Dans le principe, on provoquait une explosion entre la pointe centrale et la circonférence métallique, à l'aide d'une petite batterie. La décharge laissait sur le cristal une trace

persistante de son passage; cette trace, sur quelques cristaux tels que le gypse, était à peu près normale au clivage sec et vitreux. Ce mode, dans certaines circonstances, donnant des effets qui disparaissent dans les anomalies accidentelles, on opère dans l'air raréfié, sous le récipient de la machine pneumatique. A la vérité, le passage de l'électricité sur la surface du cristal ne laisse pas de traces permanentes, mais il se produit dans l'obscurité une lueur qui permet de suivre toutes les particularités du phénomène. Voici ce que l'on observe : avec des cristaux du système régulier, l'électricité s'échappe uniformément de la pointe centrale de manière qu'elle couvre la surface du cercle d'une lueur uniforme. L'effet paraît être le même avec des cristaux prismatiques à base carrée et rhomboédrique, mais seulement quand la face d'expérimentation est perpendiculaire à l'axe de symétrie. Avec des cristaux de tout autre système, la lueur se montre suivant deux directions opposées et forme un diamètre lumineux qui se meut dans un azimut fixe ou s'épanouit un peu en éventail et se balance par quelques oscillations légères à droite et à gauche de sa véritable direction. Si le récipient de la machine pneumatique renferme une certaine quantité d'air, on voit de petites étincelles brillantes se mêler à la lueur violacée permanente. Les deux électricités n'agissent pas de la même manière. Lorsque la pointe centrale est positive il se produit des effets bien nets; ces effets sont, au contraire, complètement indéterminés si la pointe est rendue négative. L'électricité négative s'est toujours comportée, dans les expériences de M. de Sénarmont, à l'égard d'un cristal de nature quelconque, comme l'électricité positive sur les cristaux du système cubique. Tous les cristaux ne sont pas également propres à produire ces phénomènes, même avec de l'électricité positive; il existe, entre les effets, des différences qui sont très grandes et qu'il faut rapporter soit à l'énergie très diverse avec laquelle agit la force directrice, soit à l'imperfection de la méthode employée, qui ne permet pas d'observer de légères inégalités. On conçoit que l'état de la surface doit intervenir dans les effets produits : si la surface est unie, comme cela arrive lorsque le clivage est net, l'orientation est régulière; mais elle cesse de l'être si cette face est rugueuse, striée, rayée, dépolie ou polie artificiellement. Les stries ou aspérités naturelles ne paraissent avoir une influence bien sensible que lorsqu'elles sont très prononcées. Il est donc nécessaire, si l'on veut avoir des résultats comparables, d'opérer sur des faces naturelles ou nouvellement olivées. M. de Sénarmont, qui a soumis à l'expérience un grand nombre de cristaux appartenant à tous les systèmes cristallins, est arrivé aux conséquences suivantes : dans les cristaux du système régulier et dans les corps homogènes, la conductibilité superficielle est égale sur toutes les faces et dans tous les sens; avec des cristaux du système prismatique à base carrée, ou système quadratique, et des cristaux du système hexagonal, la conductibilité est égale en tous sens sur les faces normales à l'axe de symétrie; sur les faces parallèles à cet axe, il existe une direction de conductibilité maxima, qui lui est parallèle ou perpendiculaire; sur les faces inclinées à cet axe, il existe une direction de conductibilité superficielle maxima, parallèle ou perpendiculaire à la trace de la section principale sur la face que l'on considère; enfin, à l'égard des autres systèmes, une face quelconque possède une direction fixe de conductibilité maxima. Si la face contient dans son plan un ou deux axes de symétrie, la direction de conductibilité maxima ne saurait être prévue. Les études sur la conductibilité superficielle des

cristaux aboutissent à cette conséquence, que les corps meilleurs conducteurs de l'électricité dans le sens de leur axe principal sont optiquement négatifs, et que ceux qui jouissent de la propriété contraire, à l'exception du feldspath, sont optiquement positifs. Il semblerait résulter de là que l'électricité se propage dans les cristaux plus rapidement dans la direction suivant laquelle la propagation lumineuse est relativement la plus rapide; mais, quant à présent, on ne peut savoir à quoi s'en tenir sur ce sujet, car les expériences faites sur la conductibilité superficielle ne permettent d'en tirer aucune conséquence relative à la conductibilité propre de la substance qui constitue les cristaux. Les effets observés paraissent dépendre de la manière dont sont groupés les molécules sur la surface d'expérimentation, puisque le poli ou une altération quelconque la modifie. Par exemple, si les cristaux rudimentaires, lors de leur groupement, présentent leurs angles dans une certaine direction, il est presque certain que ces saillies, invisibles pour nous, faciliteront l'écoulement de l'électricité dans cette direction. Ce qui rend probable cette explication, c'est ce fait, constaté par M. Becquerel, que le spath d'Islande dépoli cesse d'être électrique par pression, par cela même que sa surface acquiert une légère conductibilité. Il est digne de remarque que les effets de conductibilité superficielle ont de l'analogie avec les propriétés optiques et calorifiques des minéraux, en ce sens que, dans tous ces phénomènes, on retrouve l'influence des axes de symétrie égaux et inégaux, ce qui prouve que ces phénomènes dépendent uniquement de l'arrangement moléculaire.

Applications diverses de l'électricité. — Il n'est, pour ainsi dire, plus d'art ni d'industrie où l'électricité ne joue un rôle important. Nous n'avons donc pas la prétention de passer ici en revue toutes les applications que l'on a faites de ce merveilleux agent; on les trouvera d'ailleurs indiquées à tous les articles spéciaux.

ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE. — Constatation de l'électricité atmosphérique.

— On ne possède aucun moyen de reconnaître l'état absolu d'une couche atmosphérique déterminée au point de vue électrique, car un électroscope, même très sensible, ne fournit aucune indication lorsqu'il est placé dans une couche d'air, quel que soit le degré d'électrisation de celle-ci. Quand on fait des observations dans une station météorologique, on peut remplacer l'électroscope par un électromètre de Thomson, qui permet d'évaluer la différence de potentiel. Sir William Thomson indique le procédé suivant pour faire cette observation : on établit la communication de l'appareil avec un vase métallique isolé contenant de l'eau qui s'écoule goutte à goutte par un tube métallique très étroit; l'égalisation de potentiel entre le vase et la couche d'air est alors rapidement obtenue. M. Mascart a combiné cet appareil à écoulement avec son électromètre afin d'obtenir l'enregistrement photographique des indications de l'électromètre.

Origine de l'électricité atmosphérique. — On a cherché à expliquer de diverses manières l'origine de l'électricité atmosphérique, mais en réalité on ne connaît rien de certain à ce sujet. Les effets de cette électrisation ne sont pas mieux connus. On trouvera aux mots *TORRENTS* et *FOUDRE* la relation des phénomènes qui se produisent en temps d'orage. Signalons cependant les intéressantes recherches et expériences faites dans les régions polaires par M. Lemström, desquelles il paraît résulter que les

ANNÉES BORÉALES ou aurores polaires sont des conséquences de l'électrification du sol et de l'atmosphère.

On a recherché l'origine de l'électricité des nuages orageux; on a invoqué diverses causes. M. Pellat a fait ressortir notamment que la variation de potentiel des diverses couches atmosphériques permet d'expliquer qu'un nuage, en s'élevant d'une couche à une couche supérieure, peut atteindre un potentiel plus grand qu'un nuage qui restait immobile. (V. ATMOSPHÉRIQUE [Électricité].)

D'autres expérimentateurs, notamment M. Palmieri, directeur de l'observatoire du Vésuve, se sont livrés à de longues recherches sur l'électricité atmosphérique. Nous donnons ci-après des extraits d'une note présentée par M. Faye, le 29 juin 1885, à l'Académie des Sciences (France), sur les travaux de M. Palmieri relatifs à l'électricité atmosphérique; le compte rendu d'expériences effectuées par divers physiciens et enfin des extraits de communications récentes faites par M. Palmieri sur le même sujet. Le lecture de ces documents mettra le lecteur au courant de l'état actuel de la question. Voici d'abord la note de M. Faye :

« Par ciel serein, M. Palmieri trouve que l'électricité atmosphérique est toujours positive, pourvu que dans un certain rayon, qui peut aller à 70 kilomètres, il ne tombe ni pluie, ni grêle, ni neige.

« Si, par un ciel clair, on note la présence de l'électricité négative, on peut être certain qu'il pleut, qu'il neige ou qu'il grêle à une certaine distance.

« M. Palmieri a constaté, comme bien d'autres observateurs, que l'électricité de l'air est soumise à une variation diurne avec deux maxima et deux minima; mais il a reconnu que cette période diurne est facilement troublée par un vent qui souffle, un nuage qui apparaît à l'horizon ou un brouillard venant de la mer.

« Enfin il a trouvé, par des observations faites simultanément à l'université de Naples, à l'observatoire de Capodimonte et à celui du Vésuve, que cette période varie singulièrement avec l'altitude et que la tension électrique de l'air est loin de croître régulièrement à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère.

« L'observatoire du Vésuve peut être considéré comme un véritable observatoire de montagne. Il lui arrive d'être enveloppé pendant des journées entières, et même des semaines, par les nuages qui couvrent la montagne jusqu'à plusieurs centaines de mètres en contrebas de l'édifice. M. Palmieri a donc eu de fréquentes occasions d'expérimenter directement sur les nuages. Il a constaté ainsi que les nuages n'accusent pas d'électricité propre lorsqu'ils ne se trouvent pas en voie de se résoudre en pluie, en neige ou en grêle.

« C'est, suivant lui, une erreur invétérée de croire que les nuages se comportent comme des conducteurs se chargeant tantôt d'électricité négative, tantôt d'électricité positive.

« Mais c'est surtout en temps de pluie qu'il importe d'étudier les variations de l'électricité. M. Palmieri formule à ce sujet la loi suivante :

« Là où tombe la pluie, on trouve de fortes traces d'une quantité d'électricité positive, qui est entourée d'une zone plus ou moins étendue d'électricité négative, à laquelle succède une nouvelle zone positive, qui va en diminuant jusqu'à une certaine distance.

« Cette loi se vérifie aisément dans les pluies qui parcourent des espaces assez longs, mais d'une largeur restreinte. Elle s'applique aussi aux pluies d'orage; seulement, à des aurores plus fortes répondent des manifestations plus énergiques. Les grandes tensions électriques qui font sauter violemment l'index de l'électromètre au delà de 90° indiquent toujours qu'il existe de fortes pluies à quelque distance.

« De là M. Palmieri conclut que tout nuage qui se

résout en pluie est une source continue d'électricité qui, lorsqu'elle ne peut se dissiper par l'humidité de l'air ambiant, se décharge, sous forme d'étincelle ou de foudre, vers le sol ou vers les nuages voisins. Ces puissantes tensions naissent au commencement de la pluie, durent avec elle et finissent comme elle. On comprend de cette façon, dit le célèbre physicien italien, le phénomène laissé sans explication par les météorologistes et qui consiste en ce que, pendant un orage, une série indéfinie d'éclairs peut jaillir du même nuage, par cette raison que l'électricité se développe tant que dure la résolution du nuage en eau.

« Effectivement, M. Palmieri attribue l'abondante production de l'électricité dans les nuages orageux à la condensation qui y réunit les vésicules aqueuses en gouttes de pluie.

« Là me paraît être le point faible de cet important mémoire. M. Palmieri a bien cherché à vérifier cette opinion par des expériences directes; mais il n'a obtenu ainsi que des traces insignifiantes d'électricité. D'autre part, des expériences récentes en Allemagne n'en ont pas donné du tout. Il n'y a peut-être pas à s'en étonner. Bien que des changements d'état soient toujours accompagnés, en théorie, de phénomènes électriques, encore faut-il que les deux électricités opposées soient appelées à suivre des chemins différents pour que leur manifestation soit sensible. Or, dans les condensations qui se produisent artificiellement dans les expériences de laboratoire, ou qu'il donne lieu à la pluie au sein d'un nuage, s'il y a production d'électricités contraires, celles-ci doivent se recombinaison immédiatement, grâce à la mobilité et à la continuelle juxtaposition des parties, et ne laisser place qu'à un dégagement de chaleur.

« D'ailleurs la condensation dit elle-même avoir une cause. Il est tout aussi difficile de comprendre un nuage capable de verser indéfiniment de la pluie ou de la grêle, qu'un nuage capable d'engendrer continuellement de l'électricité et de fournir indéfiniment des éclairs et le tonnerre. Enfin il ne faudrait pas laisser de côté, comme s'il s'agissait de phénomènes accessoires, les mouvements de rotation et de translation qui se manifestent invariablement dans les orages. Loin d'être accessoires, ces phénomènes-là sont, à mon avis, et je crois l'avoir démontré, la partie première et essentielle.

« Dans une notice qui aura échappé à l'attention de M. Palmieri (1), j'ai montré, en 1877, que les pluies d'orage, les grêles et même les simples aurores sans tonnerre sont dues à des mouvements tourbillonnaires, à axe vertical, qui descendent des hautes régions, entraînent avec eux des cirrus ou aiguilles de glace, et produisant en dessous un abaissement parfois considérable de température, de manière à déterminer la condensation des vapeurs contenues dans la couche d'air et de nuages où ils aboutissent. Mais j'admettais alors que l'électricité qui accompagne ces phénomènes était celle des hautes régions de l'atmosphère, ramassée et condensée sur les aiguilles de glace des cirrus. Aujourd'hui (1883) M. J. Lecouin, de Turin, qui a adopté ma théorie des orages, et M. Andrieu, de Wilhelmshaven, dont les idées se rapprochent beaucoup des miennes, pensent que l'électricité propre des cirrus ne joue pas le rôle principal. A leurs yeux l'électricité se développe par le choc ou le frottement de ces innombrables aiguilles de glace (ou, suivant M. Andrieu, des gouttelettes d'eau condensées ou même congées) contre l'air humide des régions traversées par le tourbillon. Ce serait un cas de la

(1) *Annuaire du Bureau des Longitudes, 1877, Notice sur les orages et sur la formation de la grêle.*

transformation de la force vive en électricité tout a fait semblable aux phénomènes observés par Faraday dans son étude des machines hydro-électriques, et tout récemment par M. Cailletet dans son appareil de production de l'acide carbonique en neige, ou par M. Joy dans le jet d'acide carbonique sortant de la bouteille de Natterer.

« Cette opinion me paraît fort plausible. A la vérité, elle semble tout d'abord tomber sous le coup de l'objection que je faisais tout à l'heure à l'idée de M. Palmieri. Si, en effet, le frottement de particules hétérogènes, solides ou liquides, contre une masse gazeuse, produit la décomposition de l'électricité neutre, dans un mouvement giratoire, les deux électricités opposées doivent se recombinaison, avec simple manifestation de chaleur, au fur et à mesure de leur séparation. Cela aurait lieu effectivement si le tourbillon était stationnaire; mais il n'en existe pas de tels, et, en réfléchissant à la nature des mouvements giratoires qui, tous, voyagent avec rapidité sur de vastes trajectoires, on voit que l'objection ne porte pas ici. Leurs spires, animées d'une giration violente, et en même temps d'une translation rapide, à raison de 48 ou 20 lieues par heure, à travers l'air relativement calme des régions inférieures, doivent laisser derrière elles l'air ambiant, mauvais conducteur, chargé de l'une de ces électricités, absolument comme dans le jeu du plateau de verre d'une machine électrique la partie frottée, mauvaise conductrice, fuit en arrière du coussin frottant, et emporte avec elle toute l'électricité d'un même signe qui s'y est développée, sans lui permettre de se recombinaison avec celle du coussin, à laquelle on offre d'ailleurs un autre chemin. S'il en est ainsi, ce sera surtout à l'arrière d'un orage ou d'une averse que l'on observera les phénomènes si bien décrits par M. Palmieri. C'est ce que j'ai observé moi-même, il y a une quarantaine d'années, à l'aide du grand nid électrique qu'Arago avait fait ériger à l'observatoire de Paris.

« Il y a plus, pour que le passage violent de particules solides (ou liquides) dans l'atmosphère humide engendre de l'électricité en abondance, et d'une manière continue, il n'est pas nécessaire que ces particules soient des aiguilles de glace; les cendres volcaniques lancées par une éruption produisent le même effet, et déterminent quelques-uns des phénomènes d'un orage ordinaire. C'est justement dans les belles observations de M. Palmieri que M. J. Lecoini a pu saisir les éléments de cette importante remarque. M. Palmieri a en effet réuni de longue main toutes les descriptions, tous les dessins et tableaux des éruptions anciennes du Vésuve. En compulsant cette précieuse collection, en la comparant aux éruptions qu'il a observées lui-même, parfois au péril de sa vie, il a reconnu que les éclairs et les froids de foudre s'y sont montrés chaque fois que l'éruption, où la vapeur d'eau se manque jamais, a été accompagnée d'une forte pluie de cendres (1). Si, au contraire, les cendres ont manqué, comme dans la grande éruption de 1850, les éclairs et le tonnerre volcaniques ont absolument fait défaut.

« Mais le phénomène est encore plus général. De simples poussières terrestres, soulevées par le vent et entraînées dans les violentes girations d'une trombe ou d'un tornado, peuvent produire, non pas sans doute du tonnerre et des éclairs, mais des phénomènes électriques très appréciables. Ainsi l'on a constaté aux Indes anglaises que, dans les tempêtes de

poussière si fréquentes au Pendjab et dans le royaume de Lahore, on peut tirer, de conducteurs métalliques placés sur des maisons, des étincelles d'un pouce de longueur.

« Toutefois, pour produire un orage complet, l'intervention continue des cirrus entraînés par une violente giration descendante est indispensable. J'ai remarqué à ce sujet que, en dépit de la masse énorme de vapeur d'eau qui accompagne les éruptions et qui va, loin du cratère, former des nuages lançant des éclairs, jusque sur le Pausilippe (en 1707, par exemple), jamais on n'a vu tomber la grêle.

« Bien que mes idées théoriques sur les orages diffèrent beaucoup, comme on vient de le voir, de celles de M. Palmieri, je suis heureux de rendre ici hommage à ses beaux travaux.

M. Mascart ne se range pas à l'opinion de M. Faye, parce que la théorie d'après laquelle les cyclones, ou plus généralement les mouvements tournaient de même allure, proviendrait des régions supérieures de l'atmosphère, ne semble pas conforme aux faits les mieux observés.

M. Faye a réfuté à son tour M. Mascart; mais ce point de la discussion ne touche en rien les phénomènes électriques.

M. Kalischer, physicien allemand, voulant vérifier si, comme l'affirme M. Palmieri, la condensation de la vapeur d'eau est une source d'électricité, a disposé sur un labour isolant douze vases de verre tapissés de papier d'étain et remplis de glace. Le système des douze vases est mis en communication avec une des paires de quadrants de l'électromètre de Thomson, l'autre paire restant en communication avec le sol. Tandis que la vapeur de l'air ambiant venait se condenser sur les parois extérieures des vases, l'index de l'électromètre déviât irrégulièrement, et des déviations analogues se produisaient alors même que, à l'intérieur des vases, il n'y avait ni glace, ni neige. M. Kalischer en conclut que la condensation des vapeurs ne développe pas d'électricité.

Pensant avoir démontré le contraire, depuis 1862, en suivant une voie différente, il est vrai, mais qu'il jugeait rationnelle, M. Palmieri n'a pas cru devoir accepter sans conteste l'expérience du physicien allemand, et a adressé à ce propos, le 7 février 1885, une note à l'Académie des Sciences italienne. Dans une note traduite par M. P. Marcillat et publiée par la *Lumière électrique* (numéro du 19 septembre 1885), il s'exprime ainsi :

« En apprenant que l'index de l'électromètre de Thomson déviât sans que M. Kalischer en pût donner une raison, je résolus de répéter ces expériences en m'aidant d'un appareil condensateur sensible et d'un électroscope de Bohnenberger (muni du modèle de pile sèche que je suis parvenu à ramener à une force constante), et même dans certains cas, de mon électromètre bifilaire.

« J'ai pris deux grands vases de verre de trois litres de capacité, revêtus extérieurement comme les vases de M. Kalischer; je les ai placés sur un labour isolant et j'ai mis en communication, à l'aide d'un fil de platine ou même de cuivre, les surfaces extérieures de ces récipients avec le plateau inférieur du condensateur communiquant lui-même avec la feuille d'or de l'électroscope. Les disques ou plateaux de ce dernier sont en cuivre doré, et les deux faces de contact sont couvertes d'une couche de vernis isolant.

« Sans mettre dans les vases ni neige, ni quelque autre substance, mais en maintenant seulement pendant quelques instants le plateau supérieur en communication avec le sol, j'ai vu, en devant ce plateau, la feuille d'or accusée de l'électricité négative.

(1) M. Palmieri a constaté directement la présence d'électricité négative dans les cendres qui tombaient sur son observatoire pendant les éruptions.

« Cette électricité paraît plus forte si l'on touche un instant du doigt une des parois extérieures des vases, tandis que le plateau supérieur se trouve en communication avec le sol.

« Elle paraît également plus intense si les parois extérieures sont couvertes d'une étoffe imbibée d'eau, et s'accroît encore si l'on touche un moment cette étoffe, c'est-à-dire si on la met en communication avec le sol soit avec la main, soit par l'intermédiaire d'une lame de platine, tandis que le plateau supérieur communique avec la terre.

« Sans parler d'autres particularités, il me semble que l'expérience démontre que M. Kalischer n'avait que faire d'employer un système qui est par lui-même une source d'électricité négative. Si, en effet, la condensation lente des vapeurs qui se déposent en petite quantité sur les parois extérieures de ses vases avait pu développer quelques traces d'électricité positive, cette dernière eût été neutralisée par l'électricité négative préexistante.

« Lorsque j'ai mis à l'intérieur des vases soit de la neige, soit un mélange de neige et de sel, j'ai souvent obtenu moins d'électricité que je n'en avais quand les vases étaient vides.

« Il faut noter, en outre, que la quantité d'eau recueillie sur les parois extérieures des vases, au bout d'une heure de refroidissement, n'atteignait pas 2 grammes. La formation lente d'une aussi faible masse d'eau développait, par suite, une si petite quantité d'électricité positive, que la présence de cette dernière était impossible à apprécier, attendu qu'elle pouvait aisément se perdre au fur et à mesure qu'elle se développait, et cela sans qu'il fût même nécessaire de tenir compte de l'électricité négative propre du système. La condensation de la vapeur par des chutes de pluie d'une certaine intensité fournit par minute 4 gramme d'eau pour 10 centimètres carrés de surface. Dans le cas actuel il faut, pour recueillir 2 grammes d'eau en une heure, plus de 1.000 centimètres carrés de surface refroidie. Néanmoins, si l'on ne se trouvait pas en présence d'une source d'électricité négative, il serait peut-être possible d'observer, en s'aidant d'un appareil sensible, quelques traces d'électricité positive.

« J'aurais pu ôler l'étain et recouvrir les vases de minces feuilles de platine; mais ceci n'aurait abouti qu'à une expérience confuse, d'un effet douteux, ou tout au moins plus discutable que mes expériences de 1802. Il est fâcheux que ces dernières, très concluantes et venant à l'appui de ce que m'avait appris une période de trente-cinq années d'observations, aient été reproduites sans soin par mes contradicteurs, et il est regrettable qu'ils en aient conclu le contraire de ce que j'avais avancé après avoir réussi dans mes expériences de cabinet, sans s'être donné la peine de les répéter exactement.

« On pourrait demander quelle est l'origine de cette électricité négative que fournissent les vases, alors qu'ils ne contiennent ni neige ni glace. A mon avis, c'est la reproduction d'une vieille expérience de Volta. Si, en effet, on place au lieu des vases de M. Kalischer un ou plusieurs cylindres de zinc, analogues à ceux des piles, sur un labouré isolant, et si on les met en communication avec le plateau inférieur du condensateur à l'aide d'un fil de cuivre ou même de platine, l'électricité négative se montrera encore plus intense.

« Si, tandis que le plateau supérieur communique avec le sol, on touche un moment le zinc avec le doigt, avec un corps humide ou même avec du platine, on verra, en élevant le plateau supérieur, la feuille d'or de l'électroscope indiquer une électricité négative plus forte, toujours moindre, toutefois, quand le contact est établi avec du platine.

« Je pourrais m'étendre longuement sur de multiples particularités qu'il m'a été donné de noter, mais je le crois inutile pour le moment.

On peut voir le résumé des expériences que j'ai faites depuis 1802, dans une note insérée dans le fascicule du 2 juin 1862 des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences physiques* de Naples et dans le mémoire intitulé : *Lois et origines de l'électricité atmosphérique*, inséré dans le tome IV des *Mémoires de la Société italienne des Sciences*, et traduit en allemand par M. Discher, en français par MM. Marcellac et Brunet.

« Dans ces expériences, la quantité de vapeur qui se condensait en quelques minutes, c'est-à-dire qui se résolvait en eau, était au moins cinq cents fois plus grande que la quantité recueillie sur les vases de M. Kalischer dans le même temps, et l'on obtenait, à l'aide du condensateur et de l'électroscope de Bohnenberger, des tensions positives, faibles, mais constantes et indubitables (1). Le vase réfrigérant était en platine comme le fil à l'aide duquel il était relié au plateau inférieur de l'électroscope condensateur, formé de cuivre doré avec soin.

« Lorsque je fis cette expérience, j'avais depuis longtemps constaté, par l'observation directe de la nature elle-même, que les grandes tensions électriques de l'atmosphère correspondant à la condensation des vapeurs par formation de nuages, brouillards, etc., et principalement par la résolution de ces derniers, en pluie, en grêle ou en neige. Par un ciel nuageux, mais sans qu'il y ait de pluie à distance, on trouve habituellement moins d'électricité que par un ciel serein; mais si la pluie apparaît à l'horizon, les manifestations électriques fournies par les appareils spéciaux deviennent très fortes, et cet accroissement d'énergie commence avec la pluie, dure autant qu'elle et finit avec elle, suivant la loi que j'ai énoncée en 1801.

« Un observateur placé sur un point culminant du haut duquel on peut découvrir un vaste horizon, comme à l'observatoire du Vésuve, se convaincrait sans peine, sans recourir à aucune expérience, de l'exactitude des faits que la nature nous révèle spontanément. Il pourrait de plus, en étudiant convenablement la fumée du Vésuve, s'expliquer l'origine de l'électricité atmosphérique.

« On voit de quelle valeur sont les essais de M. Kalischer et quelles conclusions on peut en tirer. Je m'étonne que certains savants les citent comme décisifs dans le cas cité plus haut, où le résultat était nul. M. Kalischer, au sujet de l'emploi qu'il a fait de l'électromètre Thomson, ne dit même pas si les déviations de l'index, qu'il signale comme irrégulières, indiquaient de l'électricité positive ou négative. Il est difficile de faire fond sur des essais aussi incertains.

(1) Dans mon Mémoire précédemment cité je dis : *Vidi costantemente manifesti segni di elettricità positiva*. M. Discher a traduit *segni* par *Anzeichen*, et MM. Marcellac et Brunet par le mot *traces*. M. Faye, dans son remarquable rapport à l'Académie des Sciences, a ajouté au mot *traces* de la traduction française le mot *insignifiance*. Il y a là une erreur regrettable. L'électricité que j'observai lors de la condensation d'une colonne de vapeur n'était pas insignifiante; elle n'était pas forte et ne pouvait être dans ces conditions, mais elle était très évidente.

Je puis dire avec certitude, après ma longue période d'observations que, à l'apparition de la pluie sur l'horizon, l'électricité s'accroît en raison de l'intensité de l'orage jusqu'à produire des étincelles, alors même que la foudre ne manifeste pas sa présence. Le nuage s'éclaircit fortement en se résolvant en pluie et devient une source d'électricité tant que dure sa résolution, comme le fait une machine électrique tant qu'on fait tourner le disque.

« J'ai rapporté dans ma note de 1862, citée plus haut, une expérience à l'aide de laquelle je démontrerais que, lorsque l'eau pure se résout en vapeur, il y a développement d'électricité négative dans le liquide d'où la vapeur s'élève. Je n'ai pas eu recours à l'ébullition ordinaire de l'eau pour diverses raisons dont la principale est que, lorsque les bulles de vapeur traversent le liquide, il doit se produire une rapide neutralisation des électricités de signe contraire. Je n'ai pas voulu non plus recourir à des effets de calcéfaction ou autres, pour éviter des objections qui se présentaient naturellement (spécialement pour le frottement de la vapeur contre la paroi du récipient de platine); j'ai simplement concentré les rayons solaires à l'aide d'une grande lentille convergente, sur la surface de l'eau contenue dans une coupe de platine entièrement remplie, et j'ai observé, grâce à l'appareil condensateur habituel et à un électroscope de Bohnenberger, des signes manifestes d'électricité négative.

« Le Dr Gerland admet le développement d'électricité avec la condensation de la vapeur, parce qu'il y a restitution d'énergie, mais il ne croit pas qu'avec l'évaporation il puisse se manifester de l'électricité, parce que dans ce cas il y a dépense d'énergie. Il s'exprime en ces termes :

« MM. Wettstein et Palmieri se bornent à attribuer à la condensation de la vapeur d'eau l'origine de l'électricité atmosphérique. M. Palmieri a observé que l'électricité atmosphérique croît avec l'humidité et que, à l'apparition des nuages sur l'horizon, elle devient plus appréciable et atteint un maximum au point de fournir des étincelles avec la chute de la pluie, de la grêle ou de la neige. Après des observations aussi nettes, on ne doit pas être surpris de voir que ce savant ait entrepris des expériences pour justifier la théorie de Volta, ce qui prouve un sentiment de profond respect pour la mémoire et les idées de son illustre compatriote. »

« A ces observations courtoises, je me permets de répondre que le développement de l'électricité par l'évaporation n'est pas en contradiction avec la conservation de l'énergie, attendu que l'énergie calorifique dépensée pour provoquer l'évaporation peut, en partie, se révéler comme électricité de nature opposée à celle que fournit la condensation.

« Je dois d'ailleurs déclarer à l'illustre physicien allemand que j'ai tout récemment effectué de nouvelles expériences, que chacun pourra répéter facilement, et qui démontrent nettement le développement de l'électricité par l'évaporation de l'eau sous l'action des rayons solaires. J'en ferai sous peu l'objet d'une note spéciale.

« Beaucoup de physiciens ont hésité à admettre ce fait, que j'ai pourtant démontré expérimentalement en disant que l'on ne s'explique pas comment, lors de la condensation des vapeurs, il y a seulement développement d'électricité positive, étant donné qu'une électricité ne se manifeste jamais sans l'électricité de nom contraire. Je pourrais répondre que les fortes tensions dues à la résolution des nuages en pluie, grêle ou neige, se présentent l'une et l'autre suivant la loi que j'ai formulée. Mais je pense que, lors de l'expansion de la vapeur, son électricité positive reste occulte et l'électricité négative du liquide qui s'évapore se neutralise, quant à elle, dans le sol. Lorsque ensuite les vapeurs se condensent, l'électricité qui restait occulte, latente en quelque sorte, dans l'expansion des vapeurs, se manifeste. Ceci n'est point une hypothèse, mais une vérité reconnue par expérience. »

Enfin, désireux d'appuyer par des faits ses théories

qu'il n'avait émises pourtant qu'en se basant sur une longue et minutieuse série d'expériences commencées depuis 1850), M. Palmieri entreprit, en 1862, tout un ensemble d'expériences nouvelles qu'il décrit lui-même en ces termes dans le numéro du 23 janvier 1866 de la *Lumière électrique* (traduction de M. P. Marcillat) :

« Ces expériences furent probantes, mais restèrent à peu près ignorées. On m'a objecté les difficultés qu'elles avaient présentées et leur prix de revient.

« Dès lors, je me suis appliqué à simplifier, le plus possible, mes précédents dispositifs, de façon qu'il fût facile et peu coûteux de répéter, dans tout cabinet de physique, mes propres essais.

« J'y suis parvenu en disposant l'expérience comme suit :

« Sur un support bien isolant, on place une coupe de platine de 6^m,42 de diamètre environ, et on la fait communiquer par un fil, également en platine, avec le plateau inférieur d'un électroscope de Bohnenberger. En opérant comme d'habitude, on voit la feuille d'or rester immobile, et le résultat est le même si l'on verse dans la coupe de l'eau à la température de l'air ambiant.

« On remplit alors la coupe avec de la glace pilée et l'on élève le plateau supérieur, après l'avoir mis momentanément en communication avec le sol, comme à l'ordinaire. La feuille d'or de l'électroscope accuse nettement de l'électricité positive.

« Pour faire mieux ressortir l'expérience, il convient de rompre la communication inférieure avec la coupe de platine, en même temps que l'on élève le disque supérieur.

« En présence de ce résultat, j'ai cru superflu d'employer des mélanges réfrigérants pour obtenir de plus forts abaissements de température, estimant qu'il vaut mieux ne pas ôter à l'expérience ce caractère de simplicité qui la met à l'abri de toute contestation.

« Comme détails complémentaires, j'ajouterai que l'électroscope de Bohnenberger que j'ai modifié pour la circonstance était muni de condensateurs à plateaux de cuivre doré et de piles sèches constantes; que la tige, supportant la feuille d'or, se trouvait isolée par un manchon de cire, et enfin que les essais ont été faits avec des températures sensiblement constantes, qui n'ont oscillé qu'entre 23 et 21° centigrades pendant les derniers jours d'août et les premiers jours de septembre 1865.

« On le voit, rien n'est plus aisé que de répéter cette expérience, beaucoup plus simple que celle que j'avais imaginée en 1862. Il est permis d'espérer que, lorsque la plupart des physiciens auront reconnu son exactitude, il ne sera plus nécessaire de chercher de nouvelles hypothèses sur l'origine de l'électricité atmosphérique. J'insiste sur ce dernier point : « l'hypothèse précédente ne vise que l'origine directe de l'électricité atmosphérique » et non les mouvements de celle-ci.

« Dans l'ouvrage que M. Edlund, de l'Académie royale des Sciences de Stockholm, a récemment publié et qu'il a bien voulu m'adresser, l'auteur soutient, il est vrai, que l'électricité de la terre s'élève dans l'atmosphère sous l'influence de l'induction unipolaire du magnétisme de notre planète; mais, d'autre part, il reconnaît que les manifestations électriques dans l'air ou le retour de l'électricité vers la terre dérivent de la condensation des vapeurs et surtout de leur résolution en eau.

« Je souhaite beaucoup que les météorologistes se prononcent définitivement sur ce point délicat : « la cause première de l'électricité atmosphérique. »

« Je suis convaincu, pour ma part, que l'origine

immédiate de cette dernière réside dans la condensation des vapeurs de l'atmosphère; et si, au point de vue des mouvements ascendants ou descendants, je ne suis pas absolument d'accord avec M. Edlund, je suis heureux de voir que l'éminent physicien suédois est entièrement du même avis que moi sur les faits et les expériences qui semblent prouver, d'une façon indéniable, que la résolution des vapeurs en eau, ou leur condensation, est bien la cause directe du développement de l'électricité atmosphérique. »

ÉLECTRICITÉ DISSIMULÉE ou LATENTE. — Électricité qu'on observe dans deux disques conducteurs séparés par une lame non conductrice de terre ou de résine. (V. ÉLECTRICITÉ. — *Historique et Résumé des principales propriétés.*)

ÉLECTRICITÉ MÉDICALE. — C'est l'électricité considérée comme agent thérapeutique. A ce point de vue, elle a pris depuis plusieurs années une très grande importance. Déjà, dans le siècle dernier, les médecins avaient tenté l'emploi de ce moyen; mais les phénomènes physiques, incomplètement connus, n'avaient permis de construire que des appareils imparfaits, et, après un enthousiasme momentané, ces tentatives avortaient et retombaient dans l'oubli. C'est à notre siècle, et pour mieux dire, c'est à notre temps que sont dues les seules études sérieuses de l'électricité médicale. Tout n'est pas encore fait, mais les méthodes employées maintenant donnent des résultats sur lesquels on peut compter.

Dans cet article, rédigé par la plus grande partie d'après des notes du Dr R. Vigoureux, nous passerons en revue les principaux appareils employés en médecine. Ils se divisent en deux catégories: ceux qui servent directement à l'ÉLECTRISATION des malades et ceux qui servent d'une façon accessoire à produire au moyen de l'électricité la chaleur, la lumière, le mouvement utilisés dans certaines opérations. Il ne sera question ici que des appareils de la première catégorie. Ils se rapportent aux trois méthodes générales d'électrisation actuellement en usage et qui sont, d'après la source d'électricité: 1° l'ÉLECTRISATION STATIQUE ou FRANKLINISATION; 2° la GALVANISATION; 3° la FARADISATION.

I. ÉLECTRISATION STATIQUE ou FRANKLINISATION.

L'électricité statique, la seule connue autrefois, a été pendant un certain temps abandonnée d'une manière générale par la thérapeutique; elle est de nouveau en faveur depuis quelques années.

Appareils pour l'électrisation statique. — *Machine.* La source d'électricité est une machine électrique (dans le sens primitif du mot). Ces appareils produisent de l'électricité à un très haut POTENTIEL, mais en faible quantité. On les divise en *machines à frottement*, telles que les machines de Ramsden, de Nairne, etc., (d'où l'ancien mot d'*électricité de frottement*) et *machines à influence ou induction électro-statique* comme celles de Holtz de Toppler, etc. Les deux espèces sont encore en usage; cependant on tend à abandonner la première. Nous n'en dirons donc que peu de mots.

Machines à frottement. — Citons pour mémoire les tubes de verre, les globes de soufre à l'aide desquels furent faites, il y a cent cinquante ans, les premières applications médicales. De nos jours, la seule machine à frottement que l'on rencontre dans le cabinet des médecins est celle de Ramsden, à peu près identique avec celle des cabinets de physique: plateau de verre de 0^m,60 ou 1 mètre de diamètre, frotté par deux paires de coussins de cuir enduit d'or musif. L'électricité du plateau, recueillie par deux PEIGNES

et transmise au tabouret isolant, est positive. Nous l'avons dit, les machines à frottement tombent en désuétude. Si pourtant on voulait les expérimenter, il y aurait lieu de tenir compte de quelques perfectionnements déjà réalisés ou facilement réalisables. Le premier a trait à la substance dont sont formés les plateaux. M. Richer (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1864) a proposé de les faire en soufre. « On sait, dit-il, que M. Ch. Sainte-Claire Deville a trouvé que si l'on fond du soufre à plusieurs reprises et qu'on le refroidisse brusquement, il se change en soufre rouge. J'ai de plus remarqué qu'en coulant du soufre, qui a ainsi cristallisé plusieurs fois, dans des circonstances particulières de refroidissement, il prend une sorte de trempe, et que cet état moléculaire semble permanent. J'ai pu obtenir des plaques ou des disques en soufre de 0^m,02 à 0^m,03 d'épaisseur et de plus de 1 mètre de diamètre. Ces disques offrent une certaine élasticité et sont un peu plus fragiles que le verre; mais, n'étant pas hygroscopiques et pouvant être obtenus à très bas prix, ils peuvent être employés avantageusement dans la construction des machines à frottement. Plusieurs de ces machines sont construites depuis plus d'un an et fonctionnent très régulièrement. »

Ces plateaux ne peuvent supporter qu'un mouvement très lent de rotation. Une manière plus sûre de mettre à profit les qualités du soufre ainsi préparé serait de le couler à la surface de grands cylindres, suivant les procédés décrits par l'abbé Nollet (*Art des expériences*).

Un deuxième perfectionnement serait précisément la substitution du cylindre au plateau. Suivant Hearder, cité par Noad, les machines cylindriques ont un pouvoir d'électrisation quadruple de celui des machines à plateaux de même surface. A ce point de vue la machine de Nairne devrait avoir la préférence sur celle de Ramsden, sans compter qu'elle donne à volonté l'une ou l'autre électricité.

On a encore remplacé le verre, dans les machines circulaires ou cylindriques, par l'ébonite, dont les avantages sont évidents. Il est à peine nécessaire d'ajouter que dans ce cas l'électricité du conducteur est négative.

Pour l'ébonite et le soufre, les coussins frotteurs doivent être revêtus de peaux de chat ou de toute autre fourrure.

Dans les machines à frottement françaises, on ne trouve ordinairement pas les enveloppes ou écrans de taffetas jaune huilé qui, dans les machines anglaises, par exemple, recouvrent le plateau depuis le coussin jusque près du peigne. Ces appendices ont pourtant leur utilité, pour empêcher les pertes par l'air. Généralement les machines à frottement ne sont pas munies de CONDENSATEURS. Une pourtant fait exception, celle de Winter (de Vienne). Cette machine, assez répandue en Allemagne, et que nous avons pu voir à l'Exposition universelle de 1878, reproduit les excellentes dispositions qui distinguaient le modèle construit par Le Roy, il y a cent ans. De plus elle présente un grand anneau à l'extrémité d'une haute tige placée sur le conducteur. Cet anneau est en bois et contient une baguette métallique circulaire communiquant avec le conducteur par la tige. Il joue évidemment le rôle de condensateur et augmente considérablement la longueur de l'ÉTINCELLE.

Machines à influence ou à induction électro-statique. — Les plus employées sont celles de Carré, de Holtz, de Toppler, de Voss, auxquelles il convient d'ajouter la machine inventée récemment par M. Wimshurst.

La machine de Carré (fig. 1) se compose de deux plateaux tournant, l'un au-dessus de l'autre, dans des plans parallèles et très rapprochés. Le plateau inférieur, plus petit, est en verre dans le modèle ordinaire. Il est frotté par deux coussins, semblables à ceux des machines à frottement et produit d'une manière continue la charge inductrice. Le plateau supérieur, en ébonite, tourne huit ou dix fois plus rapidement et se charge par induction. L'électricité positive est transmise au sol par le peigne inférieur. La négative, recueillie par le peigne supérieur, charge le conducteur cylindrique qui la communique au tabouret par une tige. Enfin une lame d'ébonite, suspendue au cylindre parallèlement au grand plateau, complète la machine.

On fait des machines de ce type de toute dimen-

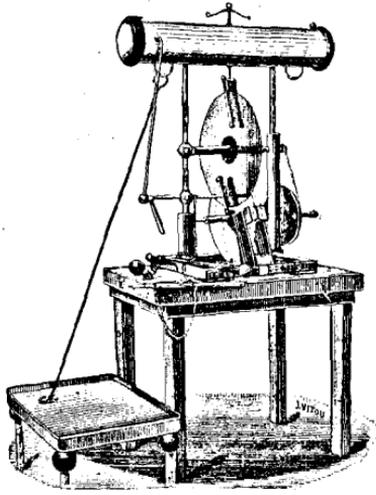


Fig. 1. — Machine Carré. (Chardin.)

sion. Pour l'usage médical, celles dont le petit plateau à 0^m,42 et le grand de 0^m,60 de diamètre sont préférables.

Les machines Carré ont aussi reçu le nom ambigu de *délectriques*, parce que, dit-on, elles fournissent à volonté les deux espèces d'électricité. C'est précisément la prétention qu'elles justifient le moins; car si l'on veut donner au tabouret une charge positive en le faisant communiquer avec le peigne inférieur tandis que le supérieur est relié au sol, on voit que cette charge est bien moindre que la négative obtenue avec la disposition ordinaire. La raison de cette différence est dans la capacité moindre du conducteur positif. La seule manière d'obtenir une forte charge positive serait de remplacer le petit plateau de verre par un plateau d'ébonite, ce qui s'est fait d'ailleurs pour quelques machines Carré. Ce léger défaut est compensé par des avantages considérables. Ainsi la machine Carré est certainement celle dont la construction est la plus simple et qui est la moins sensible aux variations atmosphériques (la machine de Wimshurst exceptée). Lorsqu'on l'emploie sans condensateur, ses étincelles, très grêles, atteignent 0^m,30 et

plus. Avec condensateur, l'étincelle est beaucoup plus nourrie et brillante, mais sa longueur est réduite de plus de moitié. Du reste, il vaut mieux se passer de ce moyen de renforcement. La différence de potentiel est si considérable, et par suite la déformation du verre est si grande, que les condensateurs se percent très fréquemment. Il faudrait, si on ne voulait pas y renoncer, substituer à la bouteille unique de M. Carré, deux bouteilles en cascade.

M. Carré a fait des machines doubles, c'est-à-dire avec deux grands plateaux, dont le débit est naturellement plus considérable.

Voici quelques renseignements pratiques sur les précautions à prendre pour l'usage de cette machine :

Elle doit être placée dans un appartement sec et où l'on entretient du feu dans la saison froide, et mise à l'abri des courants d'air, les variations de la température ayant pour effet de gonfler le plateau d'ébonite et de le mettre hors de service. Une précaution essentielle à observer pour assurer le bon fonctionnement de la machine, c'est de l'éloigner autant que possible des murs et des tentures, parce que le fluide électrique s'écoule, comme on sait, par les pointes. Si donc il existait dans la muraille un clou invisible tourné vers la machine, ou si le murailleur était recouverte d'une tenture en laine, l'extrémité du clou ou les petits filaments qui se dressent sur la laine, constitueraient autant de pointes tendant à neutraliser le fluide électrique du conducteur de la machine. C'est aussi pour cette raison que la personne qui fait tourner le plateau doit, quand elle veut produire des effets de haute tension, éloigner sa tête de l'instrument parce que les cheveux constituent aussi un grand nombre de conducteurs à pointes qui tendent à diminuer la charge. La sensation est d'ailleurs assez énergique pour que le fait soit indéniable; les cheveux se hérissent d'une façon appréciable. L'entretien de la machine consiste à enduire de temps à autre d'or moussif les frottoirs, qui doivent toujours être bien serrés contre le plateau de verre; à essayer avec soin le conducteur qui, lorsqu'il est chargé, attire tous les corps légers et les poussières tenus en suspension dans l'air ambiant; à frotter les deux plateaux, surtout celui d'ébonite, lorsque la machine donne moins d'électricité. Cette friction se fait avec un chiffon de laine imbibé de pétrole; elle demande des précautions pour éviter de fausser les organes de l'instrument, qui sont délicats; enfin il faut graisser de temps en temps les axes avec de l'huile d'horlogerie ou mieux avec du pétrole. Une machine bien entretenue peut durer fort longtemps.

M. R. Vigoroux a fait construire des machines Carré disposées horizontalement et placées sous cage. Mais on ne peut éviter la poussière provenant des coussins et de l'usure des cordes à boyau.

La machine Carré est une machine à influence dont l'amorçage est continu. Dans les machines dont il nous reste à parler, l'amorçage, c'est-à-dire la production de la charge initiale déterminant l'induction, est fait, soit par une opération extérieure, soit par le jeu même de la machine.

La machine de Holtz (v. MACHINES) nécessite cette opération extérieure. Lorsqu'on veut la faire fonctionner, il faut approcher d'une de ses armatures une plaque d'ébonite ou de verre électrisée par frottement. Supposons cette plaque laissée à demeure et soumise à une friction incessante, et nous avons la machine Carré. L'amorçage préalable est fastidieux. Il ne réussit pas toujours par les temps humides, d'autant moins qu'il oblige à ouvrir la cage qui protège la machine. M. Witz, dans ses *Manipulations de physique*, indique la disposition ingénieuse et commode

qui est adoptée à la Sorbonne : une coulisse pratiquée dans la paroi de la cage laisse glisser une tige métallique terminée extérieurement par un bouton et intérieurement par un petit peigne que l'on peut ainsi faire arriver très près d'une armature. Pour amorcer, il suffit, la machine étant en mouvement, d'approcher du bouton l'échouille électrisée. On ramène ensuite le peigne près de la paroi.

Pour l'usage médical, les machines de Holtz, à un seul plateau tournant de 0^m.60 ou 0^m.70 de diamètre sont très suffisantes. Cependant, celles à deux plateaux mobiles, c'est-à-dire les machines doubles, sont préférables comme se prêtant à un plus grand nombre de cas. Le plus souvent, il sera mieux de ne pas se servir des condensateurs.

Ces machines fournissent à volonté l'une ou l'autre

électricité, un des pôles étant mis à terre, c'est-à-dire relié métalliquement à une conduite d'eau ou de gaz. Leur défaut est leur extrême sensibilité à l'humidité. Elles exigent en outre une propreté minutieuse. On ne peut guère compter sur un fonctionnement à peu près régulier que si la machine est enfermée dans une cage vitrée fermant exactement et pourvue d'un appareil de chauffage, sans compter les autres moyens de sécher l'air.

Parmi les autres machines à influence sont encore employées, mais rarement, les machines de Tæpler, qui s'amorcent spontanément, et celle de Voss, qui peut être considérée comme en étant une modification. (V. MACHINES.)

Machine de M. Wimshurst. — M. Wimshurst, de Londres, a fait connaître, en 1883, une nouvelle ma-

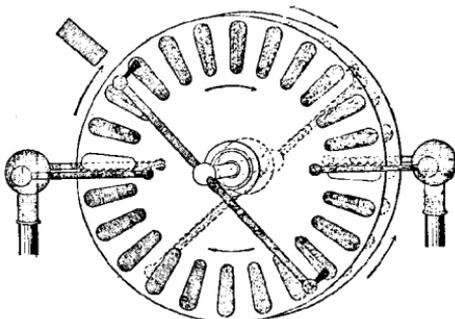


Fig. 2. — Schéma indiquant le fonctionnement de la machine Wimshurst.

(Les secteurs recouverts de hachures parallèles à leur axe longitudinal sont électrisés positivement, ceux recouverts de hachures transversales sont électrisés négativement.)

chine qui passe maintenant pour la meilleure et la plus simple en même temps des machines à influence. Elle se compose essentiellement de deux plateaux de verre (ou d'ébonite) parallèles (fig. 2), distants d'environ 0^m.003 et tournant rapidement en sens inverse, sur le même axe. Ces plateaux, absolument semblables, portent sur leur face extérieure un certain nombre de secteurs, pièces métalliques collées sur le verre ou l'ébonite, dans la direction du rayon, mais n'occupant pas plus du tiers ou de la moitié de sa longueur. L'axe porte deux tiges, une de chaque côté du couple de plateaux, formant entre elles un angle droit et un angle de 45° avec l'horizon. Ces tiges portent, à chacune de leurs extrémités libres, près du bord des disques, un petit balai métallique souple qui vient au contact des secteurs. La machine est complétée par deux peignes en mâchoire, en communication avec les pôles ou électrodes de la machine et portés sur des colonnes isolantes aux deux extrémités du diamètre horizontal des plateaux. La rotation doit se faire de façon que les secteurs marchent du peigne vers le plus proche balai.

Théorie de la machine. — M. Gariel, qui, dans l'appendice à son *Traité d'électricité*, a donné la description de la machine de Wimshurst, dit que la théorie ne peut actuellement en être présentée d'une manière satisfaisante. Le docteur R. Vigouroux pense au contraire qu'il est facile de se rendre compte des

différentes actions électriques qui interviennent dans cette machine. Voici comment il les décrit en se servant du schéma (fig. 2), dans lequel les secteurs ont été recouverts de hachures différentes suivant qu'ils sont chargés d'électricité positive ou négative, ou qui n'ont été recouverts d'aucune hachure lorsqu'ils sont déchargés : « Ne considérons d'abord qu'un des plateaux et dans ce plateau un secteur en contact avec un des balais. Le secteur, le balai et la tige (communiquant par son milieu avec l'axe, c'est-à-dire avec le sol) ne forment qu'un seul conducteur non isolé. Si ce conducteur vient à être soumis à une influence électrique (nous reviendrons plus loin sur ce point), il se chargera à son extrémité libre d'électricité de signe opposé à celle du corps inducteur. Soit donc, dans le voisinage du conducteur ainsi constitué, un corps électrisé négativement, le secteur, le peigne et une portion plus ou moins grande de la tige auront une charge positive. Faisons maintenant tourner le plateau dans le sens indiqué plus haut. Le secteur abandonne le balai et conserve sa charge positive, puisqu'il est maintenant isolé. Le balai et la tige n'ont plus de charge, puisqu'ils sont en communication avec la terre. Le secteur ainsi chargé positivement continue sa marche et arrive entre les dents du peigne. Là, par l'action des pointes, il se trouve pratiquement dans la même condition que s'il était enfermé dans un conducteur qu'il toucherait. Il perd donc sa charge,

qui passe à la surface extérieure du conducteur fermé, c'est-à-dire du peigne. Au delà de celui-ci il est complètement déchargé. Dans le parcours qu'il vient d'effectuer, notre secteur positif a passé au niveau d'un balai de l'autre plateau et a induit sur le secteur correspondant une charge négative, et ce secteur négatif, tournant en sens inverse, a été se décharger sur l'autre peigne. Répétons la même observation pour les secteurs suivants et nous arrivons à un moment où les secteurs, compris entre un balai et le peigne le plus distant, sont positifs sur un plateau,

négatifs sur l'autre, et où les peignes (avec les conducteurs correspondants) sont l'un positif et l'autre négatif. La machine est amorcée. Mais les deux autres moitiés de plateaux, au delà des peignes, ne sont pas encore chargées. En d'autres termes, la machine ne fonctionne pas encore. Ce fonctionnement est déterminé par une nouvelle induction, celle des peignes sur les secteurs déchargés. Reprenons le secteur considéré au premier lieu et que nous avons laissé au moment où, déchargé, il vient de dépasser le peigne positif. Il est polarisé plus ou moins énergi-

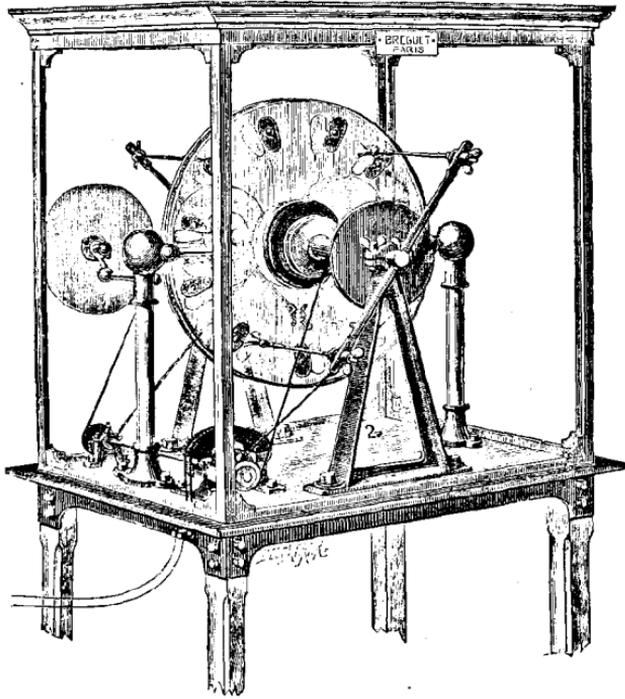


Fig. 3. — Machine de Wimshurst, grand modèle. (Breguet.)

quement suivant la charge du peigne et arrive ainsi au contact du balai ; il lui cède son électricité positive et reste chargé négativement après l'avoir dépassé. En continuant sa rotation, il passe à faible distance du balai de l'autre plateau et l'influence ; enfin, il va se décharger dans le peigne négatif. La même chose se répète, sauf changement des signes, sur l'autre plateau. Maintenant la machine est en marche. Les deux moitiés de chaque plateau et celles de la machine entière sont électrisées symétriquement en sens opposés.

« Revenons sur la charge initiale. Nous avons supposé qu'elle était fournie par l'approche d'un corps électrisé, comme dans la machine de Holtz. On peut en effet amorcer de cette manière la machine de Wimshurst et on a ainsi l'avantage de déterminer à

l'avance et à volonté le signe des pôles de la machine en choisissant le balai. Dans certains cas même on ne peut faire autrement, lorsque par exemple les balais et les secteurs sont du même métal ou que ceux-ci sont trop peu nombreux. On voit que, avec l'amorçage extérieur, le fonctionnement de la machine ne peut se comprendre sans l'induction des peignes, attendu qu'il n'y aurait aucune raison pour que l'autre moitié des secteurs s'électrisât. Lorsque les secteurs sont très nombreux et surtout lorsque les balais ne sont pas du même métal que les secteurs, la machine s'amorce spontanément. Cela s'explique par une différence fortuite de potentiel entre les secteurs par le frottement de l'air (?) et dans le second cas par la distribution électrique résultant du contact de deux métaux différents.

« L'action inductrice des peignes, ou pour mieux dire des pièces métalliques qui portent les peignes, rend compte de diverses particularités que nous avons observées dans la marche de la machine. Contrairement à ce qui arrive avec les autres, on affaiblit considérablement son débit lorsqu'on met un des pôles à terre, parce qu'on supprime ainsi la charge du peigne correspondant. L'isolement des peignes doit être aussi parfait que possible. C'est par le milieu du porte-balai, c'est-à-dire par l'axe, que doit être fait le contact avec le sol.

« On remarquera la symétrie parfaite de la machine et la rigueur avec laquelle toute charge produite renforce par influence les charges déjà existantes. Cependant, bien que sous ce rapport la machine de Wimshurst doive se ranger parmi celles qui fonctionnent suivant la formule de l'intéret composé, il nous semble qu'elle ne se prête guère à l'analyse mathématique, car la

charge des peignes, qui joue le rôle principal, dépend de leur capacité, laquelle est évidemment variable.

« Le professeur Ayrton, dans son ouvrage tout récent *Practical Electricity*, donne la description et la figure de la machine de Wimshurst, qu'il déclare la meilleure, probablement, des machines connues. Il n'en donne pas la théorie, mais il dit que les peignes ne jouent sans doute pas un rôle essentiel, car on peut les enlever sans que la machine cesse de fonctionner. Cette appréciation ne nous paraît pas justifiée. La machine privée de ses peignes est une autre machine dont le fonctionnement, tout différent, peut s'expliquer par des considérations analogues. Au surplus, le simple examen d'une bonne machine fonctionnant dans une demi-obscurité en apprendra plus que toutes les dissertations.»

De même que dans les autres machines, on aug-

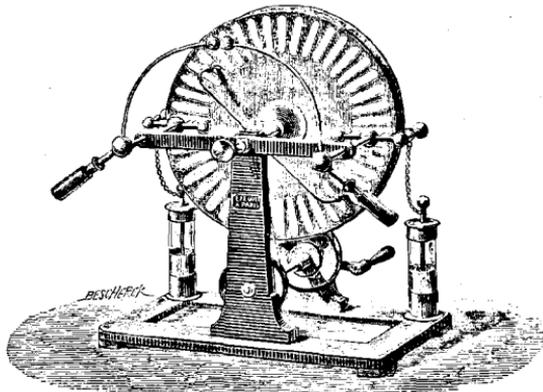


Fig. 4. — Machine de Wimshurst, petit modèle. (Bréquet.)

mente dans celle-ci la quantité de la décharge en munissant les pôles de condensateurs. Et, en raison de l'indépendance des deux moitiés de la machine, on peut renforcer isolément la décharge d'un seul pôle au moyen d'un seul condensateur ayant une armature à terre.

La machine de Wimshurst n'avait encore été construite qu'en Angleterre et en petit modèle lorsque le Dr R. Vigouroux eut la pensée de l'utiliser pour la thérapeutique. La fig. 3 représente une des grandes machines qu'il fit construire à cet effet par la maison Bréquet et qui a été présentée en 1886 à l'Académie de Médecine et à l'Académie des Sciences par M. le professeur Gariel. Les plateaux ont 0^m,70 de diamètre. La construction a été étudiée avec un soin particulier aux points de vue mécanique et électrique : suppression du graissage, solidité des différents organes permettant un travail soutenu, etc. La machine repose sur un plateau de fonte et est abritée par une cage vitrée en fer. On voit à l'intérieur le petit moteur électrique qui la met en mouvement. Le chauffage, quand il est nécessaire, se fait extérieurement, sous le plateau de fonte, au moyen d'une couronne de gaz brûlant sous des briques réfractaires.

Quelques modifications ont été apportées, sur l'indication du Dr R. Vigouroux, au modèle de la fig. 3.

Les cordes à boyau ont été remplacées par des boudins métalliques, les colonnes porte-peignes sont en ébonite, les secteurs sont plus nombreux, garnis de boutons, etc.

La fig. 4 montre le petit modèle, construit également par la maison Bréquet. Les plateaux sont en ébonite, substance qui ne serait pas d'un emploi très sûr pour le grand modèle, à cause des déformations possibles; les secteurs sont très nombreux. La facilité d'amorçage est telle qu'on peut, sans la retarder notablement, passer une éponge mouillée sur les plateaux.

Accessoires pour l'électrisation statique. (V. EXCITATEURS, ELECTROMÈTRE, ELECTROSCOPE, CONDENSATEUR, SOUPE, TABOURET.) — *Conducteur à tirage.*

— Il se compose de deux tiges creuses de laiton entrant à frottement l'une dans l'autre, et peut prendre des longueurs diverses. Une de ses extrémités se termine par une boule; c'est celle qui repose sur le tabouret ou que l'on fait tenir au malade; l'autre, terminée aussi par une boule, est recourbée en crochet pour être suspendue au pôle de la machine. Il est bon que le conducteur ait au moins 0^m,01 de diamètre et que le bord du tube extérieur soit garni d'une baguette saillante. Si on voulait, au lieu de ce conducteur, employer pour charger le tabouret une chaîne

ou un fil métallique, on constatait que l'opération est impossible en raison des pertes par l'air. Quelques constructeurs établissent la communication avec le tabouret au moyen d'un fil en spirale enroulé dans un tube de caoutchouc. Le Dr R. Vigouroux, qui a autrefois essayé ce genre de conducteurs, a observé qu'après un usage très court le tube se recouvre d'un pointillé indiquant de nombreuses pertes et qu'il est hors de service.

Condensateurs pour renforcer la décharge des machines électriques. — Ce sont des BOUTEILLES DE LEYDE, qui ne présentent rien de particulier. Les bouteilles sont suspendues aux deux pôles par leur armature interne, et les externes sont réunies entre elles par une tringle métallique que M. Vigouroux conseille de faire mobile, de façon à pouvoir, sans déplacer les bouteilles, en suspendre ou en rétablir l'action.

M. Hertz a donné aux condensateurs de ses machines une forme originale : les parties constituantes des deux bouteilles sont réunies dans un seul tube supporté à ses extrémités par les pôles de la machine et sur les parois interne et externe duquel sont collées des bandes d'étain représentant les armatures.

Une autre forme de condensateur est l'anneau de Winter, cité plus haut.

En général les condensateurs augmentent à la fois la grosseur et la longueur de la décharge. La longueur, cependant, ne peut dépasser la distance qui sépare l'une de l'autre les armatures du condensateur, d'où il résulte qu'elle est le plus souvent diminuée.

Les bouteilles et batteries sont quelquefois, mais rarement, utilisées comme moyen principal d'ÉLECTRISATION. Les condensateurs proprement dits (en feuilles) sont d'un usage plus fréquent, surtout en physiologie. Mais, attendu que leur potentiel est celui de la pile qui les charge et est par conséquent assez faible, ils peuvent être considérés comme ne faisant pas partie des appareils électriques à haut potentiel qui nous occupent. Par contre, les piles sèches ou de Zamboni ont des effets statiques assez marqués pour être rangées dans cette classe. (V. FILE.)

II. GALVANISATION OU TRAITEMENT PAR LES COURANTS CONTINUS.

Le galvanisme, découvert en 1789 par Galvani, perfectionné et développé en 1800 par le génie de Volta, a donné lieu à des traitements connus sous le nom de *galvanisation* et de *voltisation*.

Voici quelques observations intéressantes faites par le Dr Tripiet sur la nature de ce traitement : « On a confondu sous le nom de *galvanisation* deux méthodes d'électrisation, voltistes sans doute, mais entre lesquelles une distinction devra être faite, le jour où la plus ancienne, depuis longtemps abandonnée, sera reprise par la pratique. Dans la galvanisation proprement dite, deux plaques de métaux différents, réunies par un arc conducteur, étaient appliquées sur deux points différents du corps du malade. De ces deux plaques l'une, de zinc, était attaquée par les excréments sudorales, jouant ainsi le rôle de corps oxydé dans un couple dont le malade représentait l'élément liquide ; la seconde, ordinairement en argent, servait à fermer le circuit de ce couple sur lui-même en s'appliquant sur une partie plus ou moins voisine de l'autre. Le circuit était complété extérieurement par un arc conducteur réunissant les deux plaques. Le courant dirigé dans l'arc conducteur extérieur, du métal non attaqué au zinc, métal attaqué, circulo dans le sujet, de la plaque de zinc à la plaque d'argent. C'est au niveau du zinc que se portent les acides organiques au niveau de l'argent que se portent les alcalis. Cette orientation paraît tout d'abord opposée à celle de la

voltisation, dans laquelle les acides se portent sur l'électrode qui continue le pôle non attaqué : la raison de cette différence est que l'organisme, au lieu d'être intercalé dans le circuit extérieur, fait ici partie de l'électromoteur. On voit que la galvanisation proprement dite représente autre chose que l'emploi de la pile : elle représente l'emploi d'un électromoteur presque sans tension et qui mérite, au moins provisoirement, de rester à titre d'instrument historique dans les expériences comparatives. »

M. le Dr Tripiet appelle donc voltisation et non plus galvanisation, l'électrisation au moyen de la pile, c'est-à-dire au moyen d'un électromoteur continu dans le circuit extérieur duquel est intercalé le sujet.

La galvanisation représentait un procédé d'électrisation permanente, tandis que la voltisation ne fut tout d'abord employée qu'à donner des secousses, parce qu'elle succédait à l'électrisation statique, utilisée surtout comme agent variable à une époque où l'on ne tenait guère compte que de son action excitatrice de la motricité. En outre on n'appliquait pas la voltisation continue, parce qu'on avait remarqué qu'elle produit des cautérisations dont on ne savait pas se garantir.

Les piles étaient sans doute moins encombrantes que les machines électro-statiques, mais elles présentaient dès le début d'autres inconvénients, notamment la nécessité de les charger pour chaque opération, qui empêchèrent leur usage de s'étendre et s'y firent assez promptement renoncer. La faveur n'avait chance de revenir à la voltisation que lorsque parurent les piles à action prolongée (PILE DANIELL, 1826). De cette époque datent les premiers essais de voltisation continue par La Bauma ; mais ces essais n'eurent pas de suite, probablement en raison de la construction des premières machines d'induction, qui ont lieu vers cette époque (MACHINES DE PIRNÉ, MASSON, etc.). La voltisation continue ne fut reprise que vers 1850 par Pulvermacher, qui venait de créer un électromoteur plus maniable que ceux dont on avait disposé jusqu'alors. Enfin, sous le nom de *galvanisation continue*, la voltisation discontinue fut mise à la mode par Ricak (1859), tandis que la voltisation continue n'était appliquée que par quelques praticiens qui, connaissant les travaux de Caisiell sur la GALVANOCATYTIQUE CHIMIQUE, avaient appris à éviter les escharres que la voltisation continue engendre à cause de la décomposition électrolytique des tissus. Du jour où parurent les MACHINES D'INDUCTION, la voltisation discontinue ne devait plus rester comme moyen d'action variable, au moins en tant qu'agent thérapeutique. Cependant, comme moyen de diagnostic des paralysies du mouvement son emploi peut fournir d'intéressantes indications.

Maintenant que la voltisation continue commence à se répandre, il est nécessaire de présenter quelques observations techniques au sujet de son emploi. Pendant longtemps, et quelquefois encore aujourd'hui, on s'est servi, pour introduire le courant dans l'organisme, d'excitateurs en cuivre ou en argent. Pour éviter l'action caustique, au moins quand on faisait usage de courants faibles, on recouvrait les excitateurs d'un tissu mouillé, généralement de peau de daim ; or, il arrivait que le travail chimique du courant altérait les excitateurs et les encrassait d'une couche peu conductrice qui les mettait rapidement hors de service. Pour éviter ces inconvénients on a substitué aux pièces de métal, soit des excitateurs tournés dans le charbon des cornues à gaz, soit des excitateurs montés en charbon aggloméré auquel on peut donner toutes les formes voulues. Enfin, lorsqu'on fait usage de courants d'une intensité pratique, c'est-à-dire de 8 à 15 MILLI-AMPÈRES, par exemple, il est bon de garnir ces excitateurs mieux

qu'on ne le fait généralement, c'est-à-dire d'ajouter, en outre de la peau de daim ordinairement employée, quelques rondelles d'agaric (amadou). (V. EXCITATEUR.)

Pour avoir de bons contacts et amoindrir autant que possible les actions locales sur les points où elles ne sont pas nécessaires, le Dr du Bois-Reymond a employé comme excitateurs des masses de terre glaise mouillée; le Dr Apostoli, qui a adopté ces excitateurs, s'en loue fort, et a pu, en leur donnant une large surface, employer sans aucun inconvénient des courants plus puissants que ceux usités jusqu'alors.

Relativement à la susceptibilité des parties sur lesquelles portent les applications, il faut tenir compte surtout de celle du centre nerveux et de celle de la peau.

Les vues théoriques en vertu desquelles on pratique la voltéisation la rattache à deux modes d'action principaux dont chacun comporte des instructions spéciales. Dans certain cas, il y a lieu de faire parcourir au courant un chemin déterminé, celui d'un nerf par exemple. Les excitateurs sont alors appliqués aux deux extrémités du trajet voulu, d'où une voltéisation *longitudinale*; on ajoute, à cette désignation les indications *centrifuge* ou *centripète*, *descendante*

ou *ascendante*, suivant que le courant sera dirigé dans le sens des ramifications nerveuses ou en sens contraire. Dans d'autres cas on admet que l'itinéraire du courant est chose indifférente, que l'important est d'appliquer l'une des électrodes en un point choisi du corps, en vue de faire naître autour de ce point une action chimique déterminée avec réaction prédominante acide ou alcaline. On ferme alors le circuit sur un autre point quelconque assez éloigné du premier pour que le courant soit dispersé et que ses effets soient aussi atténués que possible à l'électrode qui ne doit pas agir. On pratique ainsi ce que Brenner a appelé la *méthode polaire*.

Appareils pour la galvanisation proprement dite ou appareils à courant continu. — Un appareil à courant continu se compose d'un certain nombre d'éléments de PILE groupés en TENSION (on en trouvera la description au mot PILE MÉDICALE). La puissance de l'appareil dépend du nombre des éléments employés et aussi de la FORCE ÉLECTROMOTRICE de chaque élément.

Voici un tableau donnant la force électromotrice des éléments les plus usités dans les applications médicales.

PILES.	LIQUIDE EXCITATEUR.	CORPS DÉPOLARISANT.	FORCE ÉLECTROMOTRICE EN VOLTS.
Bouteille ou galvanocausique.	Acide sulfurique	Bichromate de potasse.	2.026
Bunsen.	Acide sulfurique	Acide nitrique.	1.965
Sels de mercure.	Acide sulfurique.	Bisulfate de mercure.	1.526
Leclanché	Chlorhydrate d'ammoniaque.	Bioxyde de manganèse.	1.480
Daniell.	Acide sulfurique.	Sulfate de cuivre.	1.075
Callaud.	Acide sulfurique.	Sulfate de cuivre.	0.980
Chlorure d'argent.	Chlorure de zinc.	Chlorure d'argent.	0.915

D'après ce tableau, il sera facile, étant donnée une résistance vaincue par dix éléments Daniell, de déterminer par combien d'éléments d'une autre nature ils pourront être remplacés pour arriver au même but, l'élément Daniell donnant un courant d'une force électromotrice sensiblement égale à 1 volt.

La pile qui servit pour les premières applications fut, naturellement, celle de Volta. Lorsque Hémak remit en honneur le courant galvanique, il fit adopter par les médecins une modification de la pile de Daniell, caractérisée par un diaphragme de carton-pâte qui augmentait la résistance. Actuellement l'élément préféré est le Leclanché.

Le nombre des éléments d'un appareil est très variable, de 1 à 4 pour quelques applications spéciales, à 36 (Leclanché) dans les appareils de Gaiffe, ou 80 (Daniell à papier humide) dans ceux de Trouvé.

La fig. 5 donne la vue d'un appareil complet pour l'application des courants continus construit par M. Chardin. Il contient vingt-quatre éléments au bisulfate de mercure, à flotteur (v. PILES MÉDICALES), un commutateur, un inverseur, un collecteur de courants et un galvanomètre. Il suffit de soulever verticalement la tige que l'on aperçoit à côté du galvanomètre K pour faire remonter le casier C qui contient tous les flacons et mettre ainsi la pile en activité. Tant que cette tige est soulevée on ne peut fermer la boîte, ce qui force l'opérateur à mettre la pile au repos lorsqu'il a fini de se servir de l'appareil. Toutes les parties de ce dernier sont d'ailleurs démontables, ce qui permet de faire avec la plus grande facilité

tous les nettoyages nécessaires. Sous la planchette formant couvercle intérieur se trouvent réunis les fils

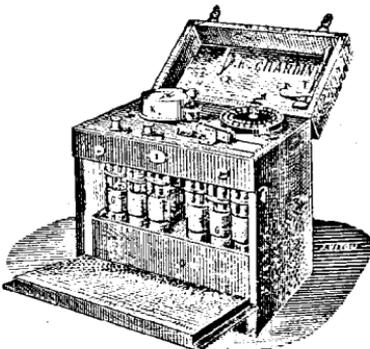


Fig. 5. — Appareil complet pour l'application des courants continus. (Chardin.)

de communication, que l'on peut visiter puisqu'il suffit de dévisser ladite planchette pour l'enlever.

Accessoires des appareils à courant continu. — Les éléments sont montés en série, et lorsqu'on se représente les usages auxquels ils sont destinés on voit qu'ils doivent nécessairement être accompagnés de certaines pièces improprement qualifiées d'*accessoires*. On doit, suivant le Dr R. Vigouroux, considérer comme parties essentielles d'un appareil galvanique les instruments suivants :

1° Un *collecteur*, dont l'utilité se justifie par les considérations suivantes.

La rupture du courant continu à pour effet de produire une secousse qui dépend de la force du courant, par suite du nombre d'éléments de pile employés. Pendant le cours d'une même application, on est amené à faire varier ce nombre d'éléments pour conserver au courant une intensité constante, attendu que la peau s'humecte et devient ainsi plus conductrice. Souvent aussi, c'est l'effet contraire qui se produit, l'électrode se dessèche et le courant perd de son intensité.

Nous donnons ci-dessous plusieurs modèles de collecteurs.

Le collecteur représenté *fig. 6* consiste essentielle-

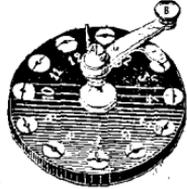


Fig. 6. — Collecteur Chardin.

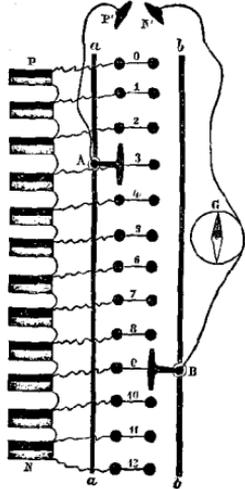


Fig. 7. — Disposition schématique du Collecteur double de M. Gaiffe.

ment en un petit curseur disposé de telle façon qu'il ne quitte un contact qu'après avoir touché le contact suivant. On peut donc faire varier la force du courant sans aucune interruption de ce courant.

Les *fig. 7* et *8* représentent le collecteur double de M. Gaiffe. Il permet, étant donnée une pile montée en vue des résistances quelconques que peut offrir le

circuit extérieur : 1° de faire entrer les couples un à un, ou deux à deux, dans le circuit, suivant que la batterie est reliée au collecteur couple par couple, ou deux couples par deux couples, sans que jamais la variation d'état dépasse celle due à l'accroissement d'intensité déterminé par l'addition d'un ou de deux couples; 2° de faire entrer dans le circuit une fraction quelconque de la pile, ce qui permet, dans les cas où un nombre restreint de couples est mis en action, de répartir le travail de façon à ne pas constamment user les mêmes. Le schéma (*fig. 7*) permet de se rendre compte de la disposition de cet appareil. Les rectangles mi-partis noirs, mi-partis recouverts de hachures horizontales, représentent les couples qui sont reliés à une double rangée de boutons métalliques 0, 1, 2, 3... etc., lesquels sont attachés, comme le montre la figure, aux rhéophores AP', BN'. Ces rhéophores sont pressés contre les boutons par des ressorts en T et peuvent se déplacer le long de rainures aa, bb. On remarquera que la branche transversale du T des ressorts

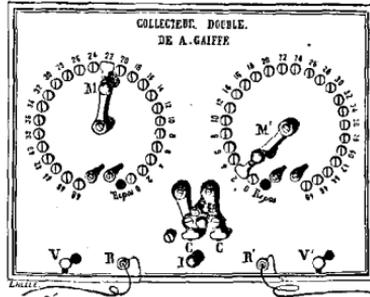


Fig. 8. — Vue extérieure du Collecteur double de M. Gaiffe.

est assez longue pour qu'ils puissent poser sur deux boutons à la fois, de sorte que l'introduction d'un nouveau couple dans le circuit ait lieu avant l'abandon du couple précédent. La variation d'état est ainsi limitée à celle de l'addition d'un couple sans variation négative préalable répondant à la brusque suppression de tout le courant qui passait d'abord.

Le ressort A pouvant être amené sur l'un quelconque des boutons de la rangée de gauche et le ressort B sur l'un quelconque des boutons de la rangée de droite, on peut recueillir le courant d'un segment quelconque, initial, terminal ou intermédiaire, le contact le plus rapproché de zéro étant négatif.

En pratique on donne à chacune des séries de boutons une forme circulaire (*fig. 8*); on a ainsi deux cadrans distincts comprenant autant de chevilles plus une qu'il y a de paires de couples. Chaque cadran est muni d'une manette mobile autour du centre et dont l'axe métallique est relié par un fil souple à l'une des électrodes qui sera appliquée sur la peau. Lorsque le circuit est fermé par l'interposition d'un conducteur entre les électrodes, ce conducteur est traversé par un courant si les deux manettes des cadrans sont appuyées sur deux chevilles d'ordre différent. Le nombre des éléments qui produisent le courant est représenté par la différence des chiffres correspondant aux chevilles sur lesquelles reposent les manettes. Enfin le sens du courant peut changer à volonté suivant que ce sera sur l'un ou sur l'autre cadran que se trouvera la manette correspondant au chiffre le plus élevé.

Un gradateur de courant fort simple, peu coûteux et qui peut s'adapter à tous les appareils, consiste en un cordon bifurqué dont les deux extrémités s'attachent à deux bornes successives, 1 et 2 par exemple; pendant que l'électrode reste fixée à la borne 2, celle de la borne 1 est placée dans la borne 3, puis celle de la borne 2 dans la borne 4, et ainsi de suite jusqu'à ce que, arrivé au point convenable, le cordon bifurqué inférieur soit retiré pour ne présenter que deux cordons ou électrodes en prise avec l'appareil, l'un relié à la première borne ou pôle +, et l'autre relié à la borne correspondant au nombre d'éléments voulu. Le mouvement contraire peut être aussi facilement réalisé.

Ajoutons que ce gradateur peut aussi servir d'interrupteur et d'inverseur pour des appareils simples. Il suffit, pour interrompre le courant, de détacher l'une des deux électrodes de sa borne d'attache; le renversement seul du courant présente une petite difficulté, le retour au zéro par le fil bifurqué demandant un certain temps.

2° Un *galvanomètre*. Il doit être divisé en milli ou mieux, suivant M. Vigouroux, en déci-milliampères et être gradué jusqu'à 200. Le modèle de Gaiffe, qui le premier a introduit dans les appareils médicaux les mesures absolues, est très bien conçu.

3° Un *commutateur ou inverseur*. Nous citerons le

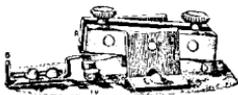


Fig. 9. — Commutateur Chardin.

commutateur de Bertin décrit au mot *INVERSEUR* et celui de M. Chardin, représenté *fig. 9*; il consiste en un simple commutateur. Si l'on veut maintenir le sens du courant, il suffit de pousser un petit verrou qui le fixe dans la position voulue.

M. Chardin a aussi combiné un inverseur de courant permettant de changer le sens de ce courant sans produire de secousses; la manœuvre en est des plus faciles. Si, par exemple, on a une pile composée de six éléments, il suffit de ramener la manette du collecteur à la division 1, on renverse le sens du courant au moyen de l'inverseur, et on ramène ensuite la manette du collecteur sur la division 6. Pour remettre les choses dans leur état primitif, on fait la manœuvre dans le sens inverse.

4° Un *interrupteur*. Il est constitué par un bouton pressant sur un ressort, ou mieux (Vigouroux), par une sorte de clef de Morse. Il doit être voisin de l'inverseur, afin que l'on puisse d'une seule main interrompre, si l'on veut, le courant, avant de le renverser.

On trouvera ci-après, à la description des appareils servant à la faradisation, divers modèles d'interrupteurs automatiques.

Application des courants continus. — Les courants continus s'appliquent de la même façon que les courants d'induction (v. ci-après); on se sert donc des mêmes accessoires. Cependant, comme les applications doivent avoir une plus longue durée, on préfère comme électrodes des plaques que l'on applique au moyen de courroies ou de rubans, et des tampons maintenus soit à l'aide d'une poignée, soit au moyen d'un anneau attaché à deux cordons.

Dans le cas d'applications par plaques ou lampons à poste fixe, la partie affectée se trouve comprise entre les deux électrodes; lorsque au contraire on fait

une application par friction, l'une des deux électrodes, qui est une plaque, est placée au point d'origine du muscle ou du nerf affecté, et l'autre pôle de la pile est mis en communication avec un lampon ou un rouleau que l'on promène sur tout le trajet de la partie malade. Dans le cas où l'on se sert de courants de grande intensité, cette méthode donne d'excellents résultats; toutefois, il faut s'arranger de façon que l'électrode qui se déplace ne quitte jamais la peau. Enfin, dans d'autres circonstances, l'un des pôles de la pile est appliqué directement au point choisi et l'autre en un endroit quelconque, tout simplement pour fermer le circuit.

III. — FARADISATION OU TRAITEMENT PAR L'ÉLECTRICITÉ D'INDUCTION.

L'électricité d'induction ou faradisation, découverte par Oersted en 1820, fit entre les mains d'Ampère et d'Arago des progrès immenses. En 1830, Faraday découvrit la véritable théorie des courants d'induction. Enfin, en 1836, Masson, en trouvant le moyen de produire avec la pile des courants d'induction interrompus, facilita notablement la construction d'appareils médicaux.

L'électricité d'induction ou faradique est produite en général par deux classes d'appareils: les premiers, dits *volta-électriques*, sont composés de bobines d'induction actionnées par des piles; les seconds, dits *magneto-électriques*, fournissent les courants par la rotation d'une bobine dans le CHAMP MAGNÉTIQUE d'un aimant.

1° **Appareils volta-électriques ou volta-faradiques.** — Ces appareils comprennent une *BOBINE D'INDUCTION* dont les deux fils (INDUCTEUR et INDUIT) sont enroulés sur le même noyau

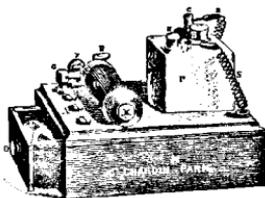


Fig. 10. — Appareil volta-électrique à bobine fixe pour installations fixes. (Chardin.)

- A. Bornes où se recueille le courant.
- F. Bouton supprimant le tremblement ou les intermittences vives.
- E. Bouton donnant les intermittences à volonté.
- G. Ressort ou trembleur et son point d'attache.
- D. Bobine d'induction.
- K. Gradateur.
- O.T. Tiroir et son bouton.
- 1. Electrodes: pinceau, porte-éponges.
- P. Pile en porcelaine.
- D. Bouchon en caoutchouc fermant l'orifice du liquide.
- C. Pôle positif de la pile.
- Z. Pôle négatif de la pile.
- R.S. Cordons amenant le courant de la pile dans l'appareil.

ou sur des bobines séparées, construites de telle sorte que l'une d'elles puisse être introduite dans l'autre. Cette dernière disposition a été imaginée par M. le Dr du Bois-Reymond dans le but de faire varier l'intensité des courants d'induction produits.

Appareils volta-électriques à bobine fixe. — Parmi les appareils à bobines fixes, nous citerons ceux que construit M. Chardin et dont les fig. 10, 11 et 12 donnent des vues perspectives.

Les légendes indiquent les différents organes dont

se composent ces appareils, ainsi que les accessoires qui les accompagnent.

L'appareil représenté fig. 10 convient pour les installations fixes.

L'appareil représenté fig. 11 est transportable ;

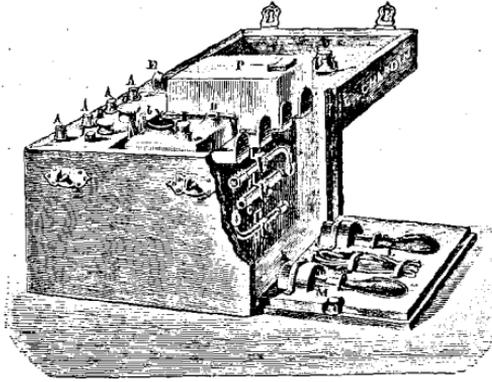


Fig. 11. — Appareil volta-électrique transportable à bobine fixe. (Chardin.)

- | | |
|---|---|
| A. Prise des courants d'induction. | U. Bouton fermant automatiquement la pile au repos. |
| B. Bouton suspendant l'action du trembleur. | E. Bouchon de la pile. |
| O. Graduateur. | F. H. Excitateurs olivaires. |
| I. Bouton interrupteur. | G. Pinceau métallique. |
| J. Contacts de la pile avec l'appareil. | K. Porte-éponges. |
| D. Échappement du gaz formé par U. | L. Fils conducteurs. |
| P. Pile en fonctionnement. | M. Plaques en maillechort. |

ses organes sont apparents, ce qui en facilite la manœuvre même pour des personnes peu exercées. Toutes les pièces délicates et auxquelles on ne doit

que le précédent, a été construit spécialement pour les hôpitaux ; il est disposé de façon que les employés de ces établissements ne puissent la déteriorer. La bobine est logée dans un compartiment spécial placé au centre de la boîte ; les deux compartiments à droite et à gauche sont doublés de caoutchouc.

Dans tous ces appareils les bornes sont placées à la partie supérieure de manière à pouvoir prendre, suivant les besoins, soit les EXTRA-COURANTS du fil inducteur, soit les courants d'induction du fil induit. Un bouton B permet d'obtenir des interruptions de courant à volonté. Les appareils d'induction sont également pourvus d'un graduateur constitué par un tube en cuivre qui enveloppe la bobine inductive et que l'on peut retirer graduellement de façon à augmenter les courants d'induction développés dans le fil induit.

Les fig. 16 et 17 donnent la vue de l'installation complète d'un BAIN ÉLECTRIQUE et de l'appareil d'induction à bobine fixe.

Jusqu'à ces dernières années ce mode d'application des courants d'induction n'avait donné de résultats que dans la chorée et l'ataxie locomotrice, mais aujourd'hui on l'emploie fréquemment pour le traitement de nombreuses maladies. Tous les établissements de bains médicaux bien montés possèdent une installation analogue à celle représentée fig. 13. A est une baignoire ordinaire, B sont des plaques permettant de localiser le courant, E représente un lampon de localisation, F l'armoire qui contient la pile, G une bobine d'induction spéciale, H les bornes d'attache des fils de cette bobine, I des bornes portant les numéros des plaques qui plongent dans la bai-

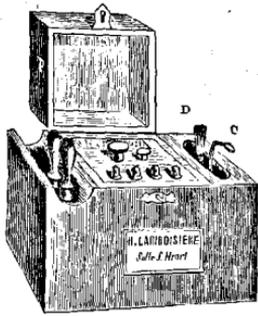


Fig. 12. — Appareil volta-électrique à bobine fixe, modèle des hôpitaux. (Chardin.)

- B. Bouton interrupteur du trembleur.
C. D. Accessoires.

pas toucher sont dissimulées et, par suite, à l'abri de toute crainte d'avarie.

Le modèle fig. 12, aussi facilement transportable

gnole, K une poire que l'on presse pour faire monter à volonté le liquide dans la pile à circulation d'air P. Le courant est localisé avec la plus grande facilité

sur n'importe quelle partie du corps: il suffit de manœuvrer convenablement les bornes de l'appareil et celles des plaques plongeant dans le bain.

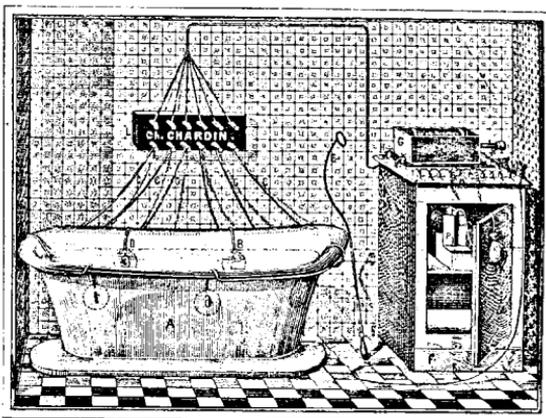


Fig. 13. — Installation d'un Bain électrique. (Chardin.)

L'appareil d'induction représenté fig. 14 se compose d'une bobine d'induction B, d'un gradateur G, d'un trembleur T qui vient, lorsqu'il est au repos toucher un contact R; les bornes A, placées du

côté du trembleur T, servent à amener le courant de la pile, les bornes A placées du côté du gradateur G, servent à envoyer le courant d'induction dans la baignoire par l'intermédiaire des plaques qui y plongent.

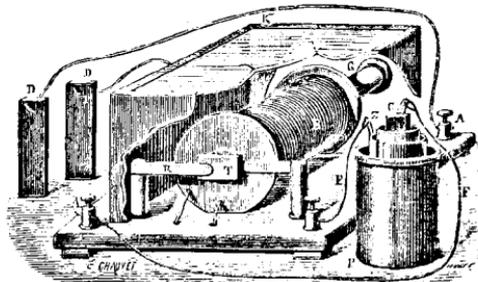


Fig. 14. — Appareil d'induction à bobine fixe pour bains électriques. (Chardin.)

Appareils portatifs. — Parmi les appareils voltafaradiques portatifs, il convient de mentionner ceux de M. Trouvé, de M. Gaiffe et de M. Chardin.

Trousse électro-médicale de M. Trouvé. — La fig. 15 représente la vue perspective de la trousse électro-médicale portable construite par M. Trouvé, contenant tous les accessoires indispensables à l'exercice de l'électrothérapie : éponges et porte-éponges, balais métalliques, C, D, E, F, G, etc.

La pile A est formée d'un couple zinc et char-

bon renfermé dans un étui en caoutchouc durci hermétiquement clos. Le zinc et le charbon n'occupent que la moitié de l'étui; l'autre moitié est remplie par le liquide excitateur (eau ordinaire et bisulfate de mercure); tant que l'étui conserve sa position ordinaire, le sommet en haut, le fond en bas, l'élément ne plonge pas dans le liquide, mais dès que l'étui est renversé ou placé horizontalement, la pile entre en action. La bobine B est composée d'un inducteur et d'un induit. En disposant convenablement les conduc-

teurs des courants induits, on obtient une partie de l'extra-courant, l'extra-courant complet, l'extra-cou- rant et le courant induit réunis, ou enfin le courant induit seul. On augmente l'intensité de ces courants

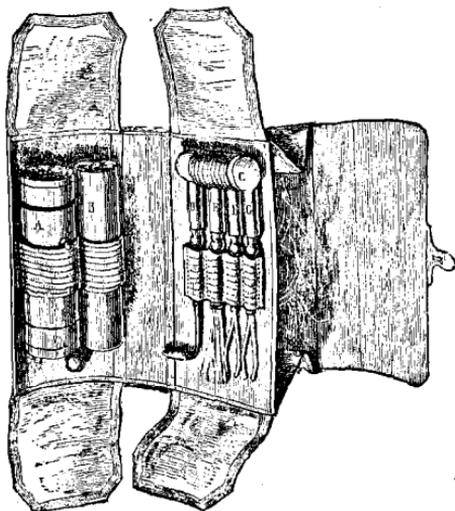


Fig. 15. — Trousse électro-médicale de M. Trouvé.

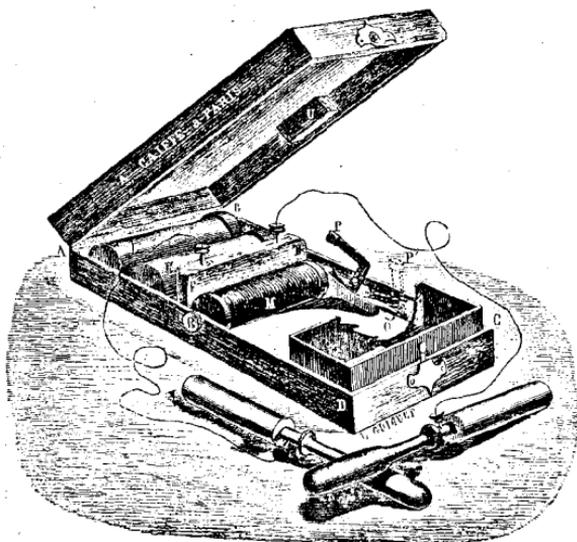


Fig. 16. — Appareil volta-faradique de poche de M. Gaiffe.

en manœuvrant un tube gradué. Le trembleur est renfermé dans une des joues de la bobine.

Appareil volta-faradique de poche de M. Gaiffe (fig. 16) — Il se compose de deux couples BB au

chlorure d'argent, renfermés dans des étuis d'ébonite, d'une bobine d'induction M, d'un trembleur P, P', le tout contenu dans une boîte dont l'un des com-

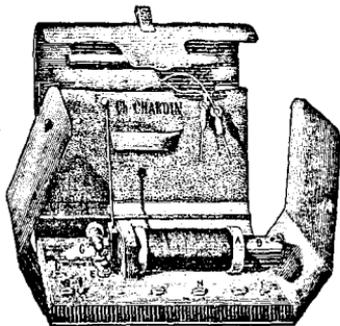


Fig. 17. — Appareil volta-faradique portatif. (Chardin.)

partiments sert à loger les divers accessoires, tels que manípules, cordons souples, etc.

Appareil volta-faradique de M. Chardin. — Enfin

la fig. 17 représente une sorte de portefeuille renfermant une bobine d'induction A munie d'un gradateur du courant B. Les électrodes de la pile se fixent aux bornes C, C; E est un bouton interrupteur; F la tige régulatrice du trembleur; G le bouton modificateur du trembleur; H la borne de prise du courant; I, l les points de fixation des porte-éponge au repos.

La bobine est actionnée par le courant d'une pile indépendante, d'un système quelconque, qui reste chez le malade à la disposition du médecin.

Appareils volta-électriques à bobines mobiles. — Nous donnons ci-après la vue de plusieurs modèles d'appareils volta-électriques à bobines mobiles.

L'appareil portatif (fig. 18) comprend une bobine inductrice fixe B, une bobine induite mobile à fil fin C, une bobine induite mobile à gros fil D, un bouton A servant à régler les vibrations du trembleur, un bouton E à intermittences volontaires, une pile et divers accessoires, tels qu'un pinceau, un excitateur olivaire et un porte-éponge.

L'appareil d'induction de cabinet (fig. 19) se compose essentiellement d'une bobine inductrice fixe A, de trois bobines induites mobiles B, C et D, enroulées de fils de grosseurs différentes, d'un trembleur avec bouton de réglage, d'un contact mobile actionné par ce bouton et qui permet de régler les intermittences, d'une tige K destinée à faire varier les vibrations du trembleur. Les fils arrivant de la pile s'attachent aux bornes E et le courant induit est pris aux bornes F.

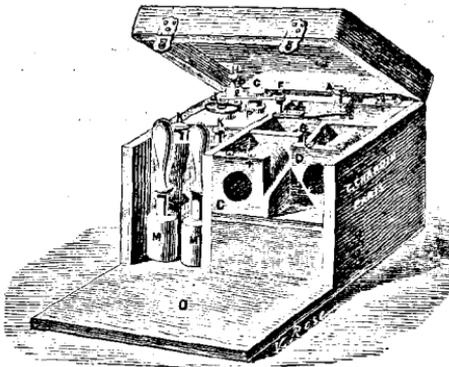


Fig. 18. — Appareil d'induction portatif à bobine mobile. (Chardin.)

Cet appareil, dont les trois bobines induites se substituent les unes aux autres, peut être actionné par deux éléments Leclanché ou par une pile-bouteille au bichromate de potasse.

Appareils volta-électriques à bobines mobiles et à interrupteurs automatiques. — Dans certains cas, le médecin cherche à obtenir des muscles en traitement des effets ayant la même durée que ceux produits par le système nerveux sur les muscles à l'état sain. Il doit employer, pour atteindre ce résultat, des excitations artificielles séparées par le même intervalle de temps que les excitations nerveuses naturelles. Il y parvient en modifiant convenablement le nombre des vibrations du trembleur.

Mais, pour obtenir ce résultat et mettre en pratique

cette théorie qui paraît logique, il faut posséder des appareils combinés d'une façon spéciale.

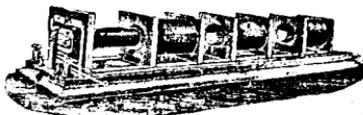


Fig. 19. — Appareil d'induction de cabinet. (Chardin.)

Interrupteur Trouet-Onimus. — MM. Trouet et Onimus ont imaginé un appareil de ce genre, composé d'une bobine inductrice indépendante, de bobines

induites, d'une pile hermétique Trouvé à renversement (v. PILES MÉDICALES), des différents accessoires en usage en électrothérapie et d'un interrupteur spécial qui constitue la partie principale de l'appareil

(fig 20). Cet interrupteur représenté fig. 21, se compose d'un cylindre divisé, dans le sens de sa longueur, en vingt parties. Chaque partie est munie, suivant la circonférence du cylindre, d'un certain

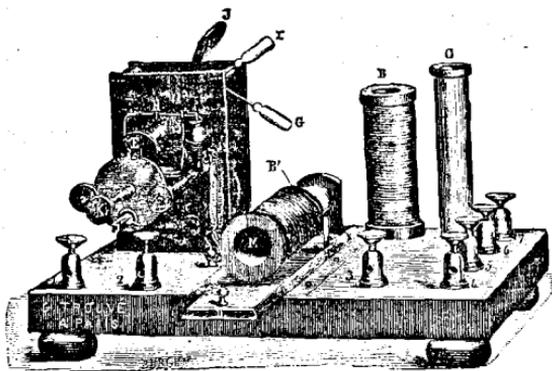


Fig. 20. — Appareil d'induction à chariot. (Trouvé et Onimus.)

- M. Bobine inductrice; C. tube gradué.
 BB' Bobines induites se plaçant à volonté sur le chariot.
 D. Chariot pour graduer les courants.
 E. Cylindre muni de touches ou chevilles.
 F.H. Interrupteur à mercure.
 K. Bouton pour déplacer le stylet.
 JJ' Ailettes du volant à résistances variables.
 L. Remontoir du mouvement d'horlogerie.

- 1 et 2. Serre-fils pour recevoir les rhéophores d'une pile à courant continu.
 3 et 4. Serre-fils de la pile à produire les courants induits.

On recueille ces derniers en plaçant les cordons des électrodes on 5 et 6 pour l'extra-courant; on 6 et 7 on recueille les induits; on 5 et 7 l'extra-courant et les induits réunis.

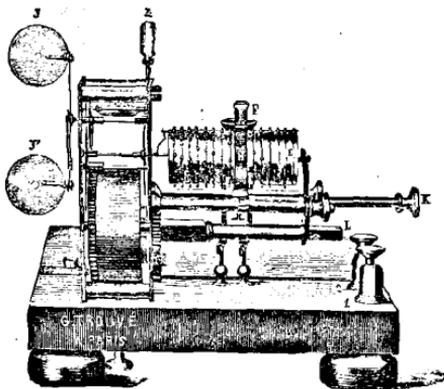


Fig. 21. — Interrupteur Trouvé et Onimus.

nombre de touches ou chevilles, dont le nombre croît suivant une progression arithmétique, c'est-à-dire qu'à la première division il y a 1 touche ou cheville, à la deuxième 2, à la troisième 3, à la vingtième 20. Le cylindre est mû par un mouvement d'horlogerie dont la vitesse se règle au moyen d'un régulateur ou

volant, à vitesse variable, ce qui permet de donner au cylindre le nombre de tours que l'on désire par seconde. Un stylet se meut à volonté parallèlement à l'axe du cylindre, et peut être mis successivement en contact avec les différents nombres de touches, ce qui a pour but d'interrompre le courant autant de fois

qu'il y a de touches à la position qu'il occupe. Supposons que le stylet se trouve à la première division où il n'y a qu'une touche : si le cylindre ne fait qu'un tour par seconde, le courant sera interrompu

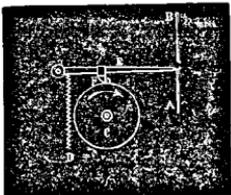


Fig. 21.

toutes les secondes, et si on lui fait occuper toutes les positions jusqu'à la vingtième, on aura 2, 3, 4... 20 interruptions du courant par seconde. Donnant donc au cylindre une vitesse de 1, 2, 3, 4, 5... tours

par seconde, chaque touche sera multipliée par ce même nombre de tours, et l'on obtiendra avec la plus grande précision depuis une interruption jusqu'à 100 en passant par les intermédiaires; ce qui permet d'avoir en un temps donné un nombre d'interruptions donné. Comme, dans la marche du cylindre il serait impossible de lire les divisions, et, par suite, de placer le stylet au nombre voulu, on a disposé parallèlement au cylindre une petite règle en ivoire, divisée aussi en vingt parties correspondant aux divisions du cylindre, et en regard du stylet, une petite aiguille que l'on met sur la division déterminée pour obtenir le nombre d'intermittences voulu. Voici comment M. Trouvé est parvenu à obtenir que les passages du courant principal ne varient pas en durée, quel qu'en soit le nombre dans un temps donné. Le stylet E (fig. 22) a deux contacts en platine A et B superposés l'un à l'autre sur une plaque d'ébonite et mis directement et à volonté dans le circuit au moyen d'un ressort à boudin. On comprend que si le contact supérieur B est dans le circuit, le passage du courant sera établi au moment même où le stylet sera soulevé par une touche du cylindre C, pour cesser immédiatement lorsque la touche sera passée. Or

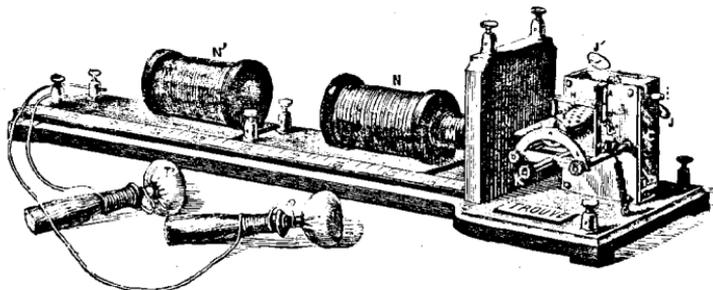


Fig. 23. — Appareil volta-électrique à chariot, nouveau modèle, de M. Trouvé.

comme, d'un côté, toutes les touches du cylindre ont la même vitesse et que de l'autre le stylet E et le ressort antagoniste D restent invariables, il en résulte que le temps du soulèvement du stylet reste lui-même invariable, quel que soit le nombre de soulèvements pour une révolution du cylindre. Il en est de même du passage du courant, qui est lié au soulèvement du stylet. Les choses se passent autrement si la communication électrique a lieu par le contact A; car le passage du courant aura lieu pendant toute une révolution du cylindre si le stylet est placé sur la première division, soit une seconde par exemple, tandis que, le stylet étant placé sur la vingtième division du cylindre, le temps du passage du courant n'atteindra pas 1/20 de seconde. Il résulte des deux effets que nous venons d'expliquer que pour produire des courants induits successifs, rigoureusement égaux, il faudra établir la communication électrique avec le contact B et avec A pour produire des courants continus intermittents ou des courants induits variant en durée. Les deux serrures 1 et 2 (fig. 20 et 21) ont été disposées, à cet effet, pour placer le patient et l'interrompateur dans le circuit d'une batterie à courant constant et continu. Il suffit alors de mettre l'interrompateur en mouvement pour avoir des intermittences.

Appareil à chariot, nouveau modèle, de M. Trouvé.

— M. Trouvé a construit un appareil à chariot représenté fig. 23 et composé de deux bobines à fil gros ou fin N et N' pouvant glisser le long d'une règle divisée et venant recouvrir plus ou moins la bobine inductrice M. Celle-ci peut servir de bobine à très gros fil en prenant l'extra-courant aux bornes qui se trouvent sur la planchette verticale qui soutient la bobine inductrice M. L'appareil est muni de l'interrompateur à mouvement d'horlogerie décrit plus haut. M. le Dr Bardet considère que cet instrument est un des plus beaux appareils d'induction qui puissent être employés soit en physiologie, soit en médecine.

M. Trouvé a construit aussi un appareil remplissant les mêmes conditions que le précédent, mais qui est à la portée de tous les praticiens sous le rapport du prix et du volume. Dans cet appareil l'interrompateur est un trembleur d'une disposition spéciale.

Interrompateur Gaiffe (fig. 24). — M. Garriet a décrit l'interrompateur à pendule de M. Gaiffe. Cet appareil consiste essentiellement en un pendule composé IL mobile autour d'un axe horizontal entre un ressort R et un électro-aimant E. Comme dans les trembleurs, le courant passe par l'axe de rotation avant de se rendre à l'électro-aimant et à la bobine inductrice; lorsque le pendule oscille, chaque fois qu'il vient buter

contre le ressort, il ferme le circuit et est attiré par l'électro-aimant dont il se rapproche; l'attraction cesse, puisque le circuit est ouvert, et le pendule retombe par son propre poids, de sorte que l'action continue. A chaque oscillation le courant passe, puis est interrompu dans la bobine inductrice. Le système entier est monté sur une plaque en ébène V qui peut prendre diverses positions. Suivant la position, le pendule

passé à la verticale à chaque oscillation ou est arrêté dans sa course avant cette position. On peut aussi faire varier à volonté la durée de l'oscillation dans une certaine mesure.

Cet interrupteur donne de 50 à 3.000 intermitteces par minute.

Autres types d'Interrupteurs. — On a construit aussi des appareils à interruptions composés d'un métronome

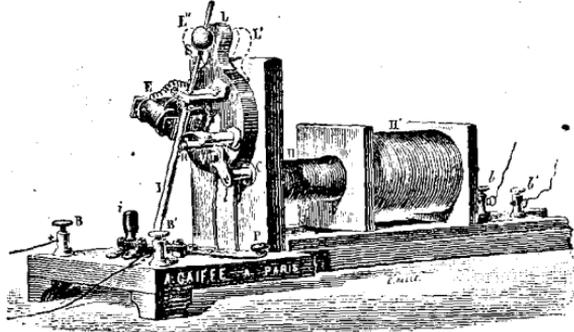


Fig. 24. — Interrupteur de M. Gaiffe.

auquel on ajoutait des organes divers pour le transformer en agent électrique; mais ces derniers appareils présentent le grave inconvénient d'avoir une marche irrégulière. Cette irrégularité dans le fonctionnement ne provient pas du métronome, qui peut être un instrument précis, quoique fort simple, mais

bien du jeu des organes qu'il faut lui adjoindre. Tantôt ce sont des ressorts métalliques contre lesquels viennent battre les extrémités du balancier; dans ce cas ce balancier, étant d'une force relativement minime, ne peut lutter contre des ressorts robustes; de là des frottements délicats qui exigent un

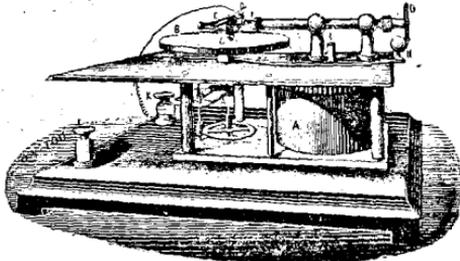


Fig. 25. — Interrupteur de M. Chardin.

entretien constant. Il faut se rappeler, en effet, que toute rupture de circuit induit produit une étincelle qui désagrège toujours, dans une certaine mesure, les contacts métalliques entre lesquels elle jaillit. Si on emploie des contacts à mercure, les inconvénients ne sont pas moindres. Le mercure est très mobile, il s'oxyde facilement, surtout sous l'action de l'étincelle électrique.

Interrupteur Chardin. — M. Chardin a construit un appareil qui est représenté fig. 25, et dont le principe est nouveau. Il se compose d'un plateau tournant sous l'action d'un mouvement d'horlogerie; sur ce plateau roule un petit galet d'acier qui entraîne dans

son mouvement de rotation un prisme métallique triangulaire monté sur le même axe que le galet. Cet axe est d'ailleurs supporté par un chariot muni d'un ressort qui s'appuie sur le prisme, et qui peut être rapproché ou éloigné à volonté de l'axe. On comprend que l'on puisse régler ainsi la durée des contacts sans changer la vitesse de rotation du plateau, et par suite sans toucher au mouvement d'horlogerie. Le déplacement du ressort s'effectue à l'aide d'un bouton qui permet également de faire glisser le galet le long de son axe et de le rapprocher ou de l'éloigner ainsi du centre du plateau, et par suite d'accélérer ou de ralentir son mouvement de rotation et de régler à volonté la fréquence des interrup-

tions de courant. Ce moteur se place dans le circuit de la pile qui actionne la bobine de l'appareil d'induction.

Dans tous les appareils d'induction examinés, chacun des fils de la bobine (fil inducteur et fil induit) est parcouru par un courant.

Le courant qui se développe dans le fil le plus court de la bobine est appelé par M. Duchenne *courant de premier ordre* ou *extra-courant*, celui qui se produit dans le fil le plus long (le fil superposé)

est appelé *courant de second ordre* ou *courant induit*. M. Duchenne a insisté sur la nécessité de pouvoir produire avec tout appareil médical ces deux ordres de courants, qui, au point de vue physiologique et thérapeutique, ont des propriétés très différentes. Le courant de premier ordre agit sur la contractilité musculaire, celui de deuxième ordre sur la sensibilité de la peau et de la rétine. Les intermittences lentes ou rapides produisent aussi des effets physiologiques très différents et qui ne peuvent se suppléer;

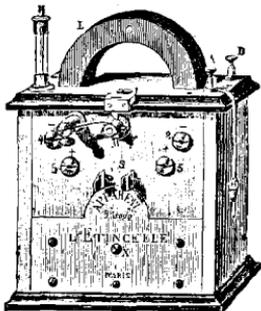
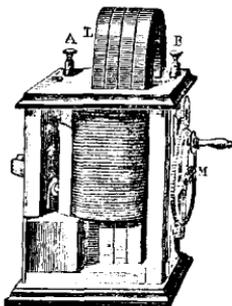


Fig. 26 et 27. — Vues en élévation et de profil de l'Appareil magnéto-électrique dit l'Étincelle. (Chardin.)



Page et a pu ainsi réduire le volume de la machine tout en lui conservant une action physiologique con-

sidérable (fig. 29). Un commutateur placé sur l'axe de l'armature relie les deux paires de bobines, et envoie des courants, toujours dirigés dans le même sens, à des pièces sur lesquelles se fixent des rhéophores. Lorsque les appareils doivent donner un seul ordre de courants, les bobines portent un fil fin et long dans lequel se développe un courant de haut potentiel; lorsqu'ils doivent donner deux courants, les bobines portent un second fil gros et court qui donne des courants de quantité. Le mouvement de rotation est communiqué à l'armature par une manivelle qu'on tourne de gauche à droite, et par un engrenage qui multiplie la vitesse. La graduation est obtenue par le déplacement de l'aimant, qu'on fait mouvoir à l'aide d'une vis de rappel dont le mouvement est mesuré par une aiguille sur un cadran divisé.

tout appareil devra donc pouvoir en fournir à volonté. Enfin la sensibilité des organes et des individus variant à l'infini, tout appareil devra être aussi puissant que possible, et en même temps muni d'un mode de gradation parfaitement exact.

Mais, depuis que l'on connaît mieux les effets de l'électricité au point de vue médical, on a reconnu que, contrairement à l'opinion de M. Duchenne, les propriétés physiologiques spéciales qu'il attribuait à l'extra-courant sont déterminées par le diamètre et la longueur du fil.

2° Appareils magnéto-électriques.

— Nous donnons la vue de trois types d'appareils magnéto-électriques.

L'appareil d'induction dit l'Étincelle, de M. Chardin, représenté fig. 26 et 27, se compose d'un aimant L, dont les deux branches forment les noyaux de deux bobines; entre ces branches se trouve une autre bobine genre Siemens à laquelle on peut imprimer un mouvement de rotation au moyen de la manivelle M. Les bornes placées sur l'appareil sont disposées de telle sorte que l'on puisse prendre soit les courants produits dans les bobines qui entourent les branches de l'aimant, soit ceux qui se développent dans la bobine mobile, soit l'ensemble de ces deux courants, soit enfin les extra-courants produits au moyen de l'intercepteur à cames D qui se relève le ressort F.

Les appareils magnéto-électriques anglais ou américains, qui reproduisent tous le modèle inventé par Clarke, se composent d'un aimant en fer à cheval A, devant les branches duquel tourne une armature portant deux bobines à fil fin B, et qui est actionnée par une roue à manivelle. Deux bornes C et F servent à recueillir le courant (fig. 28).

Appareil GaiFFE. — M. GaiFFE a combiné les deux types d'appareils magnéto-électriques de Clarke et de



Fig. 28. — Appareil magnéto-électrique anglais. (Chardin.)

Fig. 29. — Appareil magnéto-électrique anglais. (Chardin.)

Les appareils magnéto-électriques sont abandonnés ou à peu près. Selon M. R. Vigouroux, c'est à tort. La cause de cette déviation est la nécessité de tourner ou faire tourner la manivelle de l'appareil pendant toute la durée de l'opération. Mais cet inconvénient est compensé par des avantages. On ne peut considérer comme physiquement ou physiologiquement identiques le courant induit des appareils volta-électriques et celui des appareils magnéto-électriques; ces

derniers n'exigent pas la complication d'une pile, et on peut supprimer la rotation à la main, au moyen d'une pédale comme l'avait fait M. Duchenne.

Quelques constructeurs étrangers, par exemple Coxeter de Loudres, ont réuni dans une seule boîte de petit format les appareils galvanique et faradique. Cette combinaison permet de faire au lit du malade certaines opérations de traitement et de diagnostic, impossibles sans cela. Un appareil de ce genre (farado-

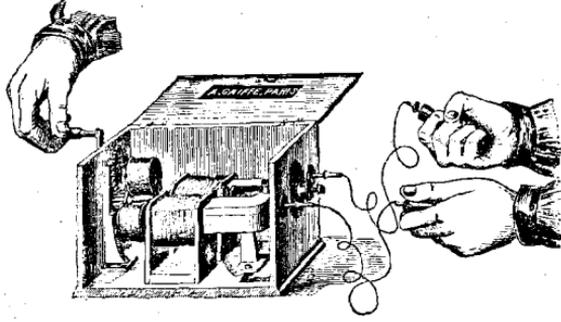


Fig. 28. — Appareil magnéto-électrique. (Gaiiffe.)

galvanique), construit par Andriveau pour M. Vigouroux, figurait à l'Exposition de 1884.

ÉLECTRICITÉ SOLAIRE. — Suivant M. W. Siemens, l'hypothèse d'une électricité solaire permettrait d'expliquer le magnétisme terrestre. Si le soleil est électrisé, la terre doit être électrisée également, ne fût-ce que par influence, et son mouvement de rotation produit les apparences du magnétisme terrestre. Euhn, M. Siemens pense qu'en admettant l'électricité solaire on peut expliquer un grand nombre de phénomènes de l'électricité atmosphérique.

ELECTRIQUE (Charge) du corps humain. — Plusieurs observateurs, à différentes époques, ont admis la présence constante, à la surface du corps, d'une certaine quantité d'électricité libre. M. R. Vigouroux a reconnu que cette opinion n'est pas fondée. Comme la prétendue charge est très faible, il faut, pour la constater, avoir recours à des électromètres délicats, et les indications données par ces instruments proviennent uniquement des contacts hétérogènes qui se trouvent dans le circuit. M. Vigouroux, en employant un électromètre de Lippmann et en prenant la précaution de placer le sujet sur un tabouret isolant, s'est assuré que dans ces conditions il n'y a jamais trace d'électrification à la surface du corps.

ÉLECTRISATION. — Par *électrification* on peut entendre « l'état d'un corps électrisé ». L'électrification dans ce cas peut être positive ou négative. Ces expressions ne signifient d'ailleurs autre chose que « électrification pareille à celle du verre ou à celle de la résine frottés avec une étoffe de laine. »

On électrise les corps à l'aide des **MACHINES ÉLECTRIQUES** ou à l'aide d'un **ÉLECTROPHORE** quand on n'a pas besoin d'une grande quantité d'électricité.

L'électricité peut se développer soit par le frotte-

ment, soit par l'influence, soit par contact, soit par suite des réactions chimiques. Ces différents modes de production ont été suffisamment étudiés au mot **ÉLECTRICITÉ**. Nous nous bornerons ici à quelques faits nouveaux.

Un corps solide peut s'électriser par le frottement avec un liquide ou un gaz; ainsi, dans le vide barométrique, le mouvement du mercure électrise le verre; un tube vide d'air dans lequel on a renfermé quelques globules de mercure devient lumineux dans l'obscurité lorsqu'on l'agite vivement; un courant d'air dirigé sur une tourmaline, du verre, de la résine, électrise ces substances positivement.

Si l'on met une sphère électrisée en contact avec une seconde sphère identique, mais non électrisée, toutes deux étant isolées, l'électricité se répartit également sur les deux sphères; on le vérifie à l'aide du plan d'épreuve et de la balance de Coulomb; si l'on a déterminé la tension sur la première sphère avant le contact, et qu'on la détermine après, on constate qu'elle est moitié moindre dans le second cas.

Si, au lieu d'une sphère identique à la sphère électrisée, on en prend une telle que le rapport des surfaces de la première et de la seconde fût $\frac{m}{n}$, et que l'on déterminât les tensions électriques sur la première sphère avant et après son contact avec la seconde, on trouverait le rapport de ces tensions égal à peu près à $\frac{1}{1 + \frac{m}{n}}$, c'est-à-dire au rapport de la surface

primitive à la somme des deux surfaces. Cette loi ne doit être exacte qu'autant que les rayons des deux sphères ne diffèrent pas sensiblement.

Électrification ou absorption électrique. — Nom donné au phénomène qu'on observe sur un canal isolé à l'une de ses extrémités et mis en relation à l'autre extrémité, avec le pôle d'une pile.

La déviation du GALVANOMÈTRE n'est pas fixe; elle diminue pendant toute la durée de l'application du courant, d'abord avec une grande rapidité, puis lentement, jusqu'à ce qu'elle devienne à peu près stationnaire (V. MESURES ÉLECTRIQUES). L'action prolongée du courant semble augmenter la résistance du DIÉLECTRIQUE. La cause du phénomène n'est pas encore bien comprise; elle paraît due à une sorte de polarisation du diélectrique (*Kempe*). Ce qui rend cette supposition vraisemblable, c'est que si, après avoir appliqué la pile pendant un certain temps à un câble dont l'extrémité est isolée, on supprime la pile et on met l'extrémité du câble en communication avec la terre par l'intermédiaire d'un galvanomètre, on constate le passage d'un courant venant du câble et qui diminue graduellement d'intensité.

Électrisation des cristaux. — Les cristaux hémicéres jouissent de la propriété de s'électriser de différentes manières : par l'action de la variation de la température, par l'action de la chaleur rayonnante et enfin par la compression. Pour étudier la distribution de l'électricité à la surface des cristaux on se sert de l'ÉLECTROMÈTRE et du PLAN D'ÉPÉE. M. Kundt a eu l'idée de se servir, dans le même but, d'un mélange de poudre de soufre et de minium qu'il projette à l'aide d'un soufflet sur le cristal; le soufre, électrisé négativement par son frottement avec le minium, est attiré par les parties du cristal électrisées positivement et le minium se porte sur les parties électrisées négativement. L'expérience est la même que celles des FIGURES DE LICHTENBERG.

Électrisation (Médecine). — D'une manière générale, c'est l'opération qui consiste à placer le corps ou une de ses parties dans un circuit électrique (de polarisation ou de conduction).

Procédés d'électrisation. — (V. PARADISATION, FRANKLINISATION, GALVANISATION.)

Électrisation statique. — Électrisation à l'aide des machines de haut potentiel. Elle était tombée en désuétude. Le Dr R. Vigouroux l'a réintroduite dans la thérapeutique depuis une dizaine d'années. (V. FRANKLINISATION.)

Électrisation localisée. — Nom donné par M. Duchenne (de Boulogne) à la méthode et aux procédés qu'il a formulés pour l'électrisation individuelle des différents organes sans lésion des téguments. Ces procédés sont basés sur une connaissance exacte de la situation anatomique des organes et des procédés à employer pour donner au courant, dans le voisinage immédiat des points à électriser, son maximum de densité.

ÉLECTRISÉ. — En quoi l'on a développé de l'électricité; qui est chargé d'électricité.

ÉLECTRISER. — Charger d'électricité.

ÉLECTRO. — Préfixe employé dans certains mots composés, et qui indique la présence de l'électricité ou des propriétés électriques.

ÉLECTRO. — Expression abrégative employée souvent pour désigner un ÉLECTRO-AIMANT.

ÉLECTRO-ACCROCHEUR. — Organe du manipulateur du télégraphe multiple de M. Baudot servant à maintenir les touches de ce manipulateur abaissées pendant le temps que le frotteur met à parcourir les contacts du distributeur. (V. TÉLÉGRAPHIE, *Télégraphe Baudot*.)

ÉLECTRO-AIGUILLEUR. — Organe de l'appareil télégraphique de M. Baudot. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

ÉLECTRO-AIMANT. — Nom donné à un barreau de FER doux ou acieré, ou plus généralement d'une substance magnétique quelconque, dans lequel l'aimantation est produite et entretenue par le passage d'un courant voltaïque dans un fil placé à distance convenable.

Pour que le courant voltaïque donne naissance à des phénomènes magnétiques suffisamment caractérisés, il faut que le fil conducteur forme autour du barreau un nombre de spires assez considérable. On peut contourner le fil sur la surface extérieure d'un tube de verre ou de bois dans l'intérieur duquel repose le barreau soumis à l'expérience, ou contourner le fil, préalablement recouvert d'une enveloppe de soie, sur le barreau lui-même, et en former une suite plus ou moins considérable de couches superposées.

Lorsque le barreau est d'acier, les propriétés magnétiques développées par le passage du courant persistent après son interruption, et l'appareil ne jouit pas de la propriété si importante dans les applications, d'acquiescer et de perdre alternativement et instantanément les qualités magnétiques dès que le circuit voltaïque est déjoint ou que la communication est rétablie. Les électro-aimants employés dans la construction des TÉLÉGRAPHES ÉLECTRIQUES, ou plus généralement des MACHINES ÉLECTROMOTRICES, sont toujours en fer aussi doux que possible, c'est-à-dire en fer décarburé, recuit et refroidi lentement plusieurs fois de suite. Les électro-aimants en fer doux acquiescent et perdent pour ainsi dire instantanément les propriétés magnétiques dès que le courant passe dans le fil qui les entoure ou que ce courant est interrompu.

On sait que l'on regarde comme étant le sens du courant le sens dans lequel il faut suivre le fil pour aller du PÔLE POSITIF de la PILE au PÔLE NÉGATIF. Si l'on suppose un observateur couché le long du fil, de manière que le courant le traverse des pieds à la tête, et regardant le barreau, le pôle austral de l'électro-aimant se forme à la gauche de cet observateur; de sorte que si, le barreau ne changeant pas de position, le fil était enroulé successivement dans les deux sens contraires, les pôles boréal et austral s'échangeraient dans le barreau. On a profité de cette remarque pour arriver à une disposition plus avantageuse des barreaux destinés à former des électro-aimants; au lieu de barreaux droits, où les pôles se développeraient aux deux extrémités à une distance plus ou moins considérable l'un de l'autre, on emploie des barreaux en fer à cheval dont les extrémités peuvent être aussi rapprochées que l'on veut, et dont les branches droites sont seules recouvertes du fil conjonctif, contourner sur l'une et l'autre en sens contraire (fig 1). Les deux branches forment ainsi, en réalité, deux électro-aimants réunis par leurs pôles contraires, où la faculté magnétique disparaît, et présentent à côté l'un de l'autre leurs deux autres pôles contraires, qui peuvent, par exemple, agir simultanément aux extrémités d'un même corps magnétique, circonstance qui augmente l'effet produit.

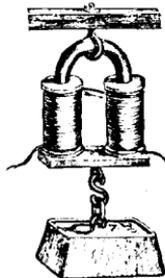


Fig. 1.

On a fait de nombreuses expériences pour déterminer les conditions qui tendraient à augmenter la puissance magnétique dans un électro-aimant; voici ce à quoi l'on est arrivé: la longueur des branches paraît indifférente; la puissance de l'appareil croît proportionnellement à la racine carrée du diamètre du cylindre enveloppé par le fil, si l'on prend pour mesure de cette puissance l'action exercée sur l'aiguille aimantée, et proportionnellement à ce diamètre, si on la mesure par les poids soulevés. S'il s'agit de construire un électro-aimant destiné à donner lieu à des effets dynamiques, il faut faire usage d'une pile à grande surface et employer un fil assez gros, de 2 à 4 millimètres de diamètre; si, au contraire, on n'a pour but que de transmettre à distance une action de peu d'intensité, il convient d'employer un fil très fin, fournissant un très grand nombre de spires. Toutes choses égales d'ailleurs, la puissance magnétique de l'électro-aimant paraît être proportionnelle au nombre des spires formées par le fil, pourvu toutefois que leur éloignement du noyau ne dépasse pas le diamètre de ce noyau.

M. Müller, après avoir analysé toutes les circonstances qui peuvent influer sur l'intensité de l'électro-aimant, les a reliées entre elles au moyen de la formule empirique

$$nI = Kd \sqrt{I} \tan \alpha \frac{m}{0,00005d^2}$$

dans laquelle n représente le nombre de spires, I l'intensité du courant, K une constante variable avec le métal du barreau aimanté et qui pour le fer doux vaut 220, d le diamètre du barreau, m le moment magnétique de l'aimant formé.

Différentes formes d'électro-aimants. — L'électro-aimant peut affecter différentes formes, appropriées aux systèmes mécaniques dont il doit faire partie. M. Nicklès, professeur à la Faculté de Nancy, auteur d'un ouvrage intitulé: *les Electro-aimants et l'adhérence magnétique*, a modifié de deux manières l'appareil qui nous occupe. 1° Il prend un morceau de fer doux, le façonne en prisme droit à quatre faces, et l'entoure d'une hélice magnétisante; puis il renferme le tout dans une boîte également rectangulaire, formée de quatre plaques de fer doux. Il se développe dans les parois de cette boîte un magnétisme contraire à celui du prisme, et qui, par conséquent, en multiplie l'intensité. Cet appareil devait être adapté à des freins, pour les rendre capables d'enrayer les roues des locomotives et des wagons sur les chemins de fer. Placé très près des rails, il s'y applique par l'adhérence magnétique, et y exerce un frottement considérable, tant que le courant passe dans l'hélice magnétisante. 2° M. Nicklès a encore imaginé une autre forme d'électro-aimant susceptible de servir utilement dans les machines électromotrices. Un gros cylindre de fer doux, pouvant tourner dans l'intérieur d'une bobine entourée de l'hélice magnétisante, se termine par deux disques en fer. Ces deux disques deviennent les deux pôles de l'aimant. L'aimantation se porte principalement vers leurs bords. Si donc on applique sur ces bords, et par son contour, un autre disque en fer, il sera entraîné par le mouvement de rotation que l'on communiquera au cylindre de fer doux, et pourra transmettre ce mouvement à tout un système mécanique. Grâce à l'instantanéité de l'aimantation et de la désaimantation, l'appareil peut attirer, puis abandonner alternativement, avec une vitesse prodigieuse, une pièce mécanique en fer mise à sa portée, et lui imprimer de la sorte une série d'oscillations extrême-

ment rapides, susceptibles de se transformer en tel mouvement que l'on voudra. L'électro-aimant est devenu le plus rapide en même temps que le plus précis de nos moteurs; c'est à lui que nous sommes redevables des merveilles de la télégraphie électrique.

Dans les appareils télégraphiques à transmission rapide de tous systèmes, on améliore le fonctionnement et on augmente la vitesse de transmission en couplant les bobines des électro-aimants en dérivation au lieu de les mettre en tension.

Certains électriciens expliquent le fait en disant que les bobines montées en dérivation neutralisent mutuellement leurs EXTRA-COURANTS au lieu de les ajouter comme dans le cas du montage en tension. Cette opinion a été émise par MM. Preece, Sivebright, Culley, etc., en Angleterre; Lockwood, Smith, en Amérique. M. Hospitalier la répute et explique, au contraire, tous les phénomènes observés en ne considérant que les lois de l'induction. « Pendant les premiers instants, après la fermeture du circuit, les bobines en dérivation, dit-il, donnent une aimantation plus grande que les bobines en tension, bien que pour l'intensité correspondant au régime permanent, les bobines en tension donnent une aimantation totale deux fois plus grande que les bobines en dérivation. Si les appareils sont réglés d'une façon très sensible, ce qui est le cas dans la télégraphie rapide, ils obéiront donc plus vite, et la durée du courant n'aura pas besoin d'être aussi grande pour produire le déplacement de l'armature. Ce qui est vrai pour la période d'établissement du courant est également vrai pour la période d'interruption. L'énergie emmagasinée dans les noyaux sera moins grande pour les bobines en dérivation que pour les bobines en tension: l'extra-courant sera donc moins énergique et de plus courte durée. »

M. Page, en Amérique, MM. Delezenne et de La Rive, en France, ont observé et étudié un singulier phénomène, qui accompagne toujours, d'une façon plus ou moins saisissante, l'aimantation d'un barreau par le courant voltaïque. Tant que dure l'influence, le barreau rend un son musical de même hauteur que celui qu'il donnerait en vibrant transversalement. La manière la plus commode de faire l'expérience est de disposer les fils assez fins qu'on veut aimanter, sur une table d'harmonie. M. de La Rive a comparé les sons obtenus à celui que rendraient des cloches vibrant dans le lointain.

Dans les appareils télégraphiques les électro-aimants se composent d'ordinaire de deux noyaux cylindriques de fer doux vissés contre une culasse ayant la

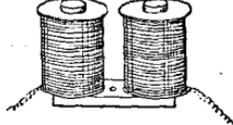


Fig. 2.

forme d'une barre plate, et garnis chacun d'une bobine métallique sur laquelle s'enroule le fil de cuivre. Dans chaque bobine l'un des bouts du fil est soudé à celle-ci, de sorte que le courant passe d'une bobine à l'autre par l'intermédiaire de la culasse de l'électro-aimant (fig. 2).

Quant aux armatures, on leur donne une forme prismatique plate, et on les met à plat, parce qu'il a été reconnu que les armatures en forme de lame qui se

présentent de champ à leur électro-aimant subissent une attraction très grande au contact et très faible à distance. C'est le contraire qui a lieu si la lame se présente à plat.

On emploie aussi une autre disposition qui consiste à ne se servir que d'une seule bobine. L'électro-

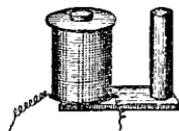


Fig. 3.

Électro-aimant boîtier.

Enfin on désigne sous le nom d'électro-aimant Hughes un électro-aimant en forme de fer à cheval constitué par un fort aimant dont les pôles sont terminés chacun par un noyau de fer doux entouré d'une bobine de fil de cuivre recouvert de soie (fig. 4). A l'état normal l'ar-

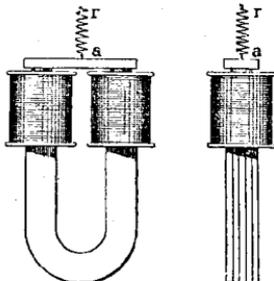


Fig. 4. — Electro-aimant Hughes.

mature *a* est au contact; mais dès qu'un courant de sens et d'intensité convenables vient à passer dans le fil des bobines, l'état magnétique de l'aimant se trouve modifié, de sorte que l'armature peut obéir au ressort *r* qui la sollicite en sens contraire et l'éloigne des pôles. Cet électro-aimant est employé dans certains appareils, notamment dans les électro-sémaphores de BLOCK-SYSTEM de Lartigue.

Électro-aimant vapeur. — M. Donato Tommasi a construit un électro-aimant particulier auquel il a donné le nom d'électro-aimant vapeur. Il est constitué par un noyau de fer doux autour duquel est enroulé un grand nombre de fois un tube en cuivre sans soudure, de petit diamètre, dans l'intérieur duquel circule de la vapeur sous une pression de 4 à 5 atmosphères. Tant que cette circulation dure, le noyau de fer doux possède une aimantation assez énergique.

L'aimantation du noyau de fer doux est bien due aux circonstances de l'expérience. En effet, l'électro-aimant vapeur n'agit pas sur une aiguille de cuivre, corps sur lequel le magnétisme n'a aucune action. Les mouvements de l'aiguille d'acier servant aux constatations n'étaient donc pas provoqués par des courants d'air forcés. Enfin l'absence de soudure ne permettait pas de supposer la formation d'un couple thermo-électrique.

Électro-aimant extracteur de Trouvé. (V. EXPLO-RATEUR-EXTRACTEUR.)

ÉLECTRO-CAUSTIQUE. — Se dit d'une méthode d'application à la chirurgie de la chaleur obtenue à l'aide des appareils électriques.

La méthode électro-caustique peut donner de bons résultats. On sait qu'à l'aide d'une batterie électrique on rend facilement incandescent un fil de platine; à l'aide de ce fil, on cautérise d'une manière circonscrite les parties profondes où l'on ne pourrait introduire un fer rouge; on opère, sans hémorragie, l'ablation des tumeurs, des loupes, en les enveloppant à la base d'une ANSE en platine que l'on rétrécit peu à peu. On a pu même amputer la cuisse à des lapins sans aucune effusion de sang. On est surtout frappé de l'innocuité des opérations pratiquées par cette méthode. Quand on veut opérer par ce procédé, il faut se souvenir qu'un fil fin rougit beaucoup mieux qu'un fil plus gros. (V. GALVANO-CAUSTIQUE.)

ÉLECTRO-CHIMIE. — Science qui a pour objet l'étude des relations qui existent ou peuvent exister entre les phénomènes électriques et les phénomènes chimiques.

Nous avons dit, au mot ÉLECTRICITÉ, comment il est possible de reconnaître que la production de l'électricité est un des effets de la combinaison et de la décomposition des corps. Nous nous proposons maintenant d'établir la proposition réciproque, savoir: qu'un certain nombre de combinaisons, mais surtout de décompositions chimiques, sont dues à l'action de l'électricité. Il faut, en général, que l'électricité soit à l'état dynamique pour exercer une action chimique durable. Cependant une série de DÉCHARGES électriques peut, au bout d'un temps plus ou moins long, décomposer un grand nombre de corps, parmi lesquels nous citerons le gaz oléfiant, le gaz ammoniac, le protoxyde d'azote, les acides sulfhydrique, chlorhydrique, l'éther, les huiles, les gouttelettes d'eau, le laiton (zinc et cuivre), l'oxyde d'étain, le vermillon (soufre et mercure), etc... Les substances soumises à l'épreuve doivent être en très petite quantité.

Quand on fait passer une série d'ÉTINCELLES à travers une masse d'oxygène pur, ce gaz exhale une odeur particulière et prend des propriétés chimiques nouvelles. Les étincelles de la foudre font naître dans l'air atmosphérique une certaine quantité de cet oxygène modifié auquel on a donné le nom d'OZONE.

On a aussi observé quelques cas de combinaison par l'électricité statique. Priestley a reconnu la naissance de l'acide azotique dans un mélange d'oxygène et d'azote (air) traversé par une série d'étincelles.

L'origine de l'électro-chimie est des plus modestes. En 1800, Carlisle et Nicholson, ayant construit une PILE à colonne avec des disques de zinc et d'argent (au lieu de cuivre), remarquèrent, pendant qu'elle fonctionnait, qu'il s'en dégagait une odeur analogue à celle que produit l'hydrogène lorsqu'on décompose de l'eau par l'action du zinc et de l'acide sulfurique. Cette odeur d'hydrogène ne provenait-elle pas d'une réelle décomposition du liquide mouillant les disques de la pile? Pour s'en assurer, les deux physiciens firent passer le courant à travers une masse d'eau, en ayant soin de recueillir de deux éprouvettes de verre les deux extrémités du fil autographique aboutissant dans l'eau. Ils recueillirent ainsi une notable quantité d'hydrogène dans l'éprouvette qui recouvrait le pôle négatif, et seulement des traces

d'oxygène dans celle qui recouvrait le pôle positif. Une partie de l'eau avait donc été décomposée. Des résultats mieux marqués furent obtenus la même année et les années suivantes par différents expérimentateurs : Cruikshank (1800), Berzélius (1803), et, par dessus tous, Davy (1806), qui réussit à décomposer un grand nombre de corps au moyen de sa puissante pile de 2.000 couples. Enfin, vers 1832, Faraday, ajoutant d'autres faits aux faits déjà constatés, trouva la loi qui les relie, et édifica la science de l'électro-chimie.

Nomenclature électro-chimique. — Faraday imagina, pour les phénomènes électro-chimiques, une nomenclature dont quelques termes seulement ont été adoptés. On appelle *ÉLECTRODE positive* et *électrode négative* les extrémités des fils rhéophores de la pile. Le corps décomposable par l'action électrique s'appelle *ÉLECTROLYTE*, et l'acte de décomposition sous l'influence du courant a reçu le nom d'*ÉLECTROLYSE* ou *electrolysis*, d'où le verbe *electrolyser*. D'autres mots, qui ont le tort d'être un peu bizarres, quoique régulièrement formés du grec et ayant un sens très précis, tels que IONS, ANIONS, CATIONS, etc., avaient encore été proposés par Faraday; ils n'avaient pas été adoptés dans le principe, mais on commence à les employer. On trouvera au mot *ÉLECTROLYSE* des détails sur les décompositions et les combinaisons opérées par le courant électrique. Les lois établies par Faraday sur l'électrolyse et le résumé des principales applications industrielles qui en ont été la conséquence.

ÉLECTRO-CINÉTIQUE. — De même qu'en mécanique on distingue sous le nom de *cinématique* l'étude des propriétés du mouvement considéré indépendamment de sa cause, et de *dynamique* celle des causes du mouvement, de même on désigne par *électro-cinétique* l'étude des propriétés de l'électricité en mouvement indépendamment des causes de ce mouvement, dont l'étude constitue l'*électro-dynamique*.

ÉLECTRODE. — Point par lequel un courant électrique pénètre dans un corps. Faraday désigne sous le nom d'*ÉLECTRODE* tout point par lequel le courant entre

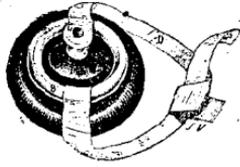


Fig. 1.

ou pénétrer dans un corps, et, par conséquent, les extrémités des rhéophores de la pile.

On appelle aussi *électrodes* les divers appareils dont on se sert en médecine pour l'application de l'électricité. Ces électrodes sont généralement des plaques maintenues sur les organes soit à l'aide de courroies ou de rubans (fig. 1), soit à l'aide de manchettes (fig. 2).

Il n'y a pas lieu de distinguer les accessoires appelés *excitateurs* des électrodes proprement dites; les excitateurs désignent plus spécialement les électrodes employées en électrisation statique.

M. R. Vigouroux utilise deux excitateurs : la boule (dont on doit avoir deux grosseurs) et la

pointe. Ces instruments sont en métal ou en bois. Dans le premier cas, ils sont portés par des manches isolants et unis au sol par une chaîne traînante. Celle-ci est écartée par un anneau monté lui-même sur un manche isolant et nommé porte-chaîne. Lors-



Fig. 2.

qu'il s'agit d'excitateurs en bois, la communication avec le sol peut sans inconvénient se faire par le corps même de l'opérateur. Les excitateurs sont les analogues des électrodes de la galvanisation. M. Vigouroux a obvié à l'inconvénient résultant de l'obligation de changer les excitateurs dans le cours d'une opération en réunissant trois instruments, boule, pointe et cylindre sur un seul manche.

Un autre genre d'excitateur est le *graduateur* d'étincelles décrit au mot *FRANKLINISATION*. Mais la plupart du temps il ne s'agit pas tant de graduer l'étincelle, ce qui peut, du reste, se faire autrement, que de localiser la décharge sur un point fixe, et la rendre moins douloureuse et irritante pour la peau en faisant éclater l'étincelle dans la portion métallique du circuit. M. Vigouroux a obtenu très simplement ces deux résultats en appliquant d'abord sur le point à exciter une sorte de bec de cane monté sur un manche isolant et portant une grosse boule. L'appareil est complété par une longue tige métallique terminée à un bout par une grosse boule qu'on approche de la précédente pour déterminer l'étincelle, et à l'autre par un anneau laissant une chaîne traîner sur le sol.

Nous donnons ci-contre les figures des excitateurs et électrodes les plus habituellement employés.

1° Le *porte-éponge* (fig. 3) a été remplacé avantageusement par le *cylindre de charbon* (fig. 4). Ce dernier présente en effet tous les avantages du porte-éponge sans en offrir les inconvénients, principalement l'oxydation due à l'humidité.

2° Le *pinceau* (fig. 5) s'emploie pour produire une excitation de l'épiderme.

3° Les *excitateurs olivaires* (fig. 6 et 7) sont utilisés pour l'électrisation de certains organes profonds ou de forme spéciale et permettant d'électriser un point déterminé sans influencer les organes environnants; leur forme et leur dimension sont proportionnées à leur emploi.

4° Les *électrodes doubles* (fig. 8, 9 et 10) permettent d'électriser deux points rapprochés tout en laissant libre une des deux mains de l'opérateur. Le premier modèle (fig. 8) est d'une application générale; les autres (fig. 9 et 10) sont principalement destinés à l'électrisation de la gorge. A l'aide de l'électrode double (fig. 9), on peut atteindre toutes les parties de l'organe malade. Les deux demi-sphères EF peuvent être légèrement écartées; un bouton interrupteur B permet d'interrompre le courant à volonté.

5° Les *excitateurs* (fig. 11 et 12) servent à l'électrisation des organes génitaux. La fig. 11 représente de petits *excitateurs olivaires* qui permettent de mettre l'organe malade en relation avec un pôle de l'appareil, l'autre pôle étant en communication avec le ventre ou avec toute autre partie du corps.

La fig. 13 donne la vue d'un *excitateur* à l'aide duquel on peut électriser le col de la matrice, et la fig. 14, une *sonde* imaginée pour le redressement de ce même organe. La sonde entre dans le col et le



Fig. 3.
Porte-éponge.



Fig. 4.
Cylindre de charbon.



Fig. 5.
Pinceau.

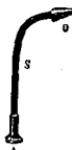


Fig. 6 et 7.
Excitateurs olivaires.



point A s'appuie sur le muscain de tanche au point déterminé par l'affection à traiter.

Nous citons encore :
L'*excitateur* employé pour le traitement des phl-

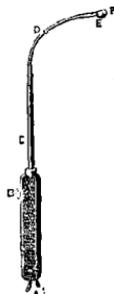


Fig. 8, 9 et 10. — Electrodes doubles.

A. Partie d'ivoire.
G. Porte-éponge mobile de droite à gauche,
M. Manche isolant.
A. Arrivée des pôles de la pile.
B. Bouton interrupteur.

C. Tige.
D. Coulisseau rapprochant plus ou moins les deux demi-sphères EF.
EF. Demi-sphères isolées l'une de l'autre et représentant les deux pôles du courant d'induction.

siques et qui consiste en un peigne ou brosse à poils rigides (fig. 15), que l'on promène sur toute la par-

tie du corps correspondant à la région malade. Le courant est amené par deux fils conducteurs C. Le

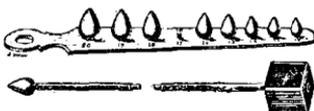


Fig. 11 et 12. — Excitateurs.



Fig. 13. — Excitateur.



Fig. 14. — Sonde.

boulon A permet de faire passer le courant et de l'interrompre à volonté.

L'*excitateur* employé pour le traitement des mala-

dies de l'œil (fig. 16) ; il porte une petite boule, isolée d'un côté, qui s'introduit sous la paupière et permet d'électriser une partie déterminée de l'organe.

L'excitateur rectal (fig. 17) sert, dans le cas de parusse intestinale, à porter le courant dans l'anus et à exciter l'intestin pour lui rendre son fonctionne-

ment normal. Cet appareil rend de grands services. Enfin les excitateurs employés par M. le Dr Garfigou-Desarennes pour le traitement des maladies



Fig. 15. — Excitateur pour les phisiques.

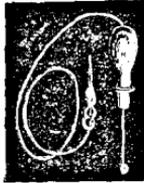


Fig. 16. — Excitateur pour l'œil.

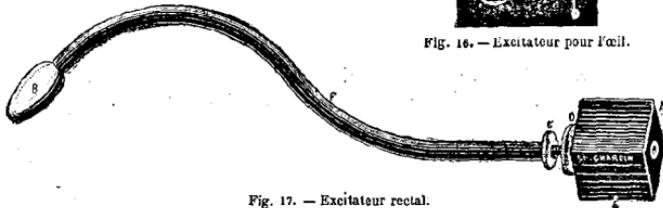


Fig. 17. — Excitateur rectal.

des fosses nasales, particulièrement du coryza chronique accompagné de punaise. L'excitateur (fig. 18) se compose d'une série de lames en platine AEF articulées toutes sur un même axe, ce qui permet de

Le diapason simple et l'électro-diapason ont été introduits dans la thérapeutique par le Dr R. Vigoureux. Il leur a reconnu des effets physiologiques remarquables et les a employés avec succès dans le traitement de plusieurs maladies où les médications ordinaires avaient échoué. Il utilise surtout la caisse de résonance de ces instruments et a fait construire par M. König des appareils de diverses dimensions, depuis celle où la caisse peut recevoir la main jusqu'à celle où elle peut supporter deux personnes.

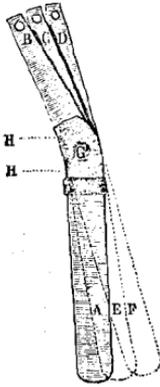


Fig. 18.



Fig. 19.



Fig. 20.

l'écarter en éventail une fois qu'elles ont été introduites dans les fosses nasales. Le fil de prise de courant s'attache en B, C, D. L'excitateur est pourvu d'une gaine isolante H, H qui limite l'action caustérisante aux seules parties marquées AEF. Les excitateurs représentés (fig. 19 et 20) permettent de caustériser un point déterminé.

ÉLECTRO-DIAGNOSTIC. — Recherche des modifications morbides des réactions électriques en vue de déterminer les affections correspondantes.

ÉLECTRO-DIAPASON. — Instrument chronographique. (V. CHRONOGRAPHIE.)

ÉLECTRO-DYNAMIE. — Intensité d'un courant électrique. L'unité qui sert à la mesurer s'appelle AMPÈRE. (V. UNITÉS ÉLECTRIQUES.)

ÉLECTRO-DYNAMIQUE. — On appelle électrodynamique la partie de la science de l'électricité qui a pour objet l'étude des actions que les courants exercent les uns sur les autres.

Lorsque deux fils métalliques voisins sont traversés simultanément par des courants électriques, il se produit entre ces fils, selon la direction relative des deux courants, des attractions ou des répulsions analogues à celles qui s'exercent entre les pôles de deux aimants. Ces phénomènes, dont la découverte est due à Ampère, constituent une branche de l'électricité dynamique qu'on désigne sous le nom d'électro-dynamique. Les lois qui les régissent présentent différents cas, suivant que les courants sont rectilignes ou sinués, parallèles ou angulaires :

Lois des courants parallèles : 1° deux courants parallèles et de même sens s'attirent; 2° deux courants parallèles et de sens contraires se repoussent.

Lois des courants angulaires : Deux courants rectilignes dont les directions forment entre elles un angle s'attirent lorsqu'ils s'éloignent ou s'approchent tous les deux du sommet; ils se repoussent si, l'un marchant vers le sommet de l'angle, l'autre s'en éloigne.

Lois des courants sinués : L'action d'un courant sinués est la même que celle du cou-

rant rectiligne qui suivrait la corde de l'arc qu'il parcourt. (V. COURANT, ÉLECTRICITÉ.)

Indépendamment de l'action exercée par un courant sur un courant, on constate que la terre exerce une action directrice sur un courant mobile; cette action est identique à celle que produirait un courant continu passant par l'équateur et circulant de l'est à l'ouest. Cette hypothèse d'un courant terrestre ainsi défini permet d'expliquer à la fois l'action directrice de la terre sur les courants et sur les aimants. En disposant les conducteurs d'une portion de courant mobile d'une certaine façon, on parvient à annuler l'action directrice de la terre, et cette disposition de courant est dite **ASTATIQUE**.

De ce qui précède il résulte que tout courant circulaire fermé se comporte relativement à l'action directrice de la terre comme un aimant plat, et qu'une série de courants circulaires constitue une *solénoïde* (V. SCÉLÉNOÏDE ET ÉLECTRO-MAGNÉTISME), qui possède les mêmes propriétés qu'un aimant. C'est en constatant ce genre d'actions qu'Ampère a été amené à établir sa théorie de l'assimilation des aimants aux solénoïdes.

ÉLECTRO-DYNAMISME. — Ensemble des phénomènes produits par les courants électriques.

ÉLECTRO-DYNAMOMÈTRE. — Appareil destiné à mesurer les intensités des courants. Les électro-dynamomètres, qui ont été imaginés par Weber, sont fondés sur les attractions et les répulsions mutuelles des courants.

Un électro-dynamomètre se compose, en principe,

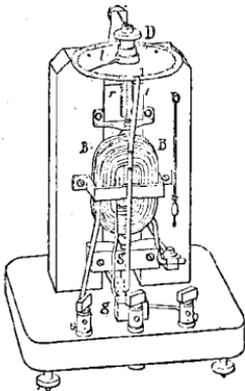


Fig. 1. — Électro-dynamomètre de Siemens.

d'un **CONDUCTEUR** fixe et d'un conducteur mobile traversés, l'un par le courant à mesurer, l'autre par un courant constant dont l'intensité est connue. La déviation obtenue est proportionnelle au produit des intensités de ces deux courants, ce qui permet de calculer celle que l'on cherche. La sensibilité de cet appareil a été augmentée par un artifice consistant à faire passer le courant à mesurer dans les deux conducteurs, et par suite à faire agir ce courant sur lui-même. Il en résulte que les déviations sont proportionnelles au carré

de l'intensité et indépendantes du sens du courant. Ce genre d'appareils permet donc de mesurer des courants alternatifs. En effet, lorsque le courant change de sens, il le fait à la fois dans les deux conducteurs; l'action réciproque de ces derniers reste par suite la même, et le conducteur mobile subit une déviation comme dans le cas des courants continus.

Électro-dynamomètre de Siemens. — L'électro-dynamomètre de Siemens se compose : d'une bobine à gros fil B fixe dont les deux extrémités plongent dans des godets pleins de mercure *g, g* (fig. 1); d'un cadre mobile composé d'un seul fil, suspendu par un ressort à boudin *r* dont l'extrémité supérieure est munie d'un bouton D moulé, à index parcourant un limbe gradué *l*. Le cadre mobile est lui-même muni d'un index *i* servant à mettre le courant mobile dans une position exactement perpendiculaire au cadre fixe. Lorsqu'un courant passe dans l'appareil, l'index *i* est déplacé, et au moyen du bouton moulé D, on tourne le ressort *r* jusqu'à ce que l'index *i* soit ramené à zéro. L'angle de torsion permet, à l'aide d'une table graduée, d'évaluer l'intensité du courant.

Électro-dynamomètre de Giltay. — Cet instrument est principalement destiné à la mesure des courants téléphoniques; il est basé sur un principe nouveau indiqué par Bellati et qui est le suivant : si dans un GALVANOMÈTRE on remplace l'aiguille aimantée par un barreau de fer et qu'on suspende celui-ci dans le plan des spires, le courant qui traverse ces dernières ne le dévient pas, parce qu'il n'est pas magnétique. Si on place le barreau dans le plan du méridien et en même temps normalement au plan des spires, le courant qui les traverse l'aimantera; mais il ne sera pas encore dévié, puisqu'il a déjà atteint la déviation maxima de 90°. Il n'en sera plus de même si on fait faire au barreau avec le plan des spires un angle inférieur à 90°; en effet, le barreau se trouvera aimanté aussi bien que dévié par le courant circulant à travers les spires. Enfin, comme la polarité du barreau change avec le sens du courant, la déviation se fera toujours du même côté, quel que soit le sens du courant; il sera donc dévié également pour des courants alternatifs.

Électro-dynamomètre absolu de M. H. Pellat. — M. Pellat a imaginé un électro-dynamomètre-balance, qui est construit par M. Carpentier et qui est ainsi composé : dans une BOBINE longue, horizontale N, se trouve une bobine mobile *n* dont l'axe est vertical

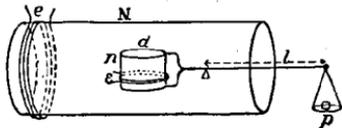


Fig. 2.

(fig. 2). Quand le même courant passe dans ces deux bobines, la petite est placée dans le CHAMP MAGNÉTIQUE, à peu près uniforme, produit par la grande, et l'observation du couple qui tend à dévier son axe de la verticale donne la mesure qui fait connaître l'INTENSITÉ DU COURANT. La petite bobine fait corps avec un fléau de balance qui porte à son extrémité un plateau suspendu à la façon ordinaire. Les deux conducteurs et leurs chapes sont en argent, aucune pièce d'acier n'existant dans l'appareil. Deux fils d'argent très fins, faisant

deux tours de spires en face du couteau sur lequel repose le filéau, permettent de faire passer le courant dans la petite bobine sans gêner le mouvement du filéau. L'intensité du courant en unités CGS est donnée par la formule :

$$i = \sqrt{\frac{4\pi e}{\pi^2 d^2 N_1 (1-\alpha)}} \sqrt{P}$$

dans laquelle les lettres ont les significations suivantes :

p masse en grammes placée dans le plateau pour l'équilibre;
 g intensité de la pesanteur;
 l distance des arêtes des deux couteaux;
 d distance d'axe en axe des spires de l'unique couche de fil de la petite bobine;
 n nombre de ces spires;
 N nombre des couches de la grande bobine;
 e distance des axes des deux spires consécutives de cette bobine;
 α terme correctif dépendant de la longueur finie de la grande bobine. (Le calcul donne avec précision ce terme, qui serait nul si la bobine avait une longueur infinie.)

Un courant de 0,3 ampères est équilibré à Paris par 66,4180; la balance permet d'apprécier le 1/20 de milligramme.

M. Pellat se propose d'employer l'instrument à la mesure en valeur absolue de la force électromotrice des piles; à la détermination du rapport des unités ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES ET ÉLECTRO-STATIQUES, en mesurant les mêmes forces électromotrices avec un électromètre absolu; à la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur: le travail PRT, converti en chaleur dans un fil très fin plongé dans un calorimètre, peut être ainsi connu avec une erreur inférieure à 1/450. (*Académie des Sciences*, décembre 1886.)

ÉLECTRO-ENDOSCOPIE. — Instrument destiné à observer avec la lumière électrique l'intérieur du corps humain. (V. ÉLECTRO-MÉGALOSCOPE ET POLYSCOPE.)

ÉLECTRO-ENDOSCOPIE. — Examen des cavités du corps humain au moyen de l'électricité.

ÉLECTRO-FREIN. — Organe du traducteur du télégraphe multiple de M. Baudot, servant à établir la concordance entre la marche de ce traducteur et celle du distributeur. (V. TÉLÉGRAPHIE, *Télégraphe Baudot*.)

ÉLECTRO-GALVANIQUE. — Produit par une pile voltaïque.

ÉLECTRO-GALVANISME. — Théorie des effets produits par les piles voltaïques.

ÉLECTROGÈNE. — Cause indéterminée qui produit l'électricité. « Adjectif. Qui produit l'électricité.

Appareil électrogène des poissons.
 — MM. Béraud et Charles Robin ont désigné sous le nom d'*appareil électrogène*, un appareil particulier à l'aide duquel certains poissons peuvent produire un dégagement plus ou moins considérable de fluide électrique. Parmi tous les animaux, les poissons jouissent seuls de la propriété de développer de l'électricité; mais tous ne la possèdent pas, et le nombre de ceux qui la possèdent est même assez restreint. Parmi les poissons de mer, on trouve : les torpilles (*torpedo marmorata* Duméril) et les raies (*raya*). Quant aux poissons électriques habitant l'eau douce, ce sont

les gymnotes (*gymnotus* Linné), les mormyres (*mormyrus* Ruppel) et les malaplérures (*malapterurus*).

Quoiqu'il soit très variables de forme et de position, selon le genre des poissons, ces appareils offrent toujours, comme une pile de Volta, deux pôles, l'un positif, l'autre négatif, et l'électricité qu'ils dégagent est d'ailleurs entièrement identique à celle que produisent nos machines électriques, et donne lieu aux mêmes réactions. Ainsi, avec cette électricité, non seulement on peut produire des secousses, des ébranchements, mais on a pu décomposer l'eau et les dissolutions salines. Si l'on rejoint les deux pôles par un fil de cuivre, le courant y circule et dévie fortement l'aiguille du GALVANOMÈTRE. Toutefois une distinction importante doit être faite. Chez les poissons électriques, la production d'électricité n'est pas indépendante de la volonté; elle est, au contraire, sous la dépendance absolue du système nerveux central; on peut quelquefois toucher simultanément les deux pôles sans éprouver la moindre secousse; mais si l'animal est irrité, la secousse se fait immédiatement sentir. L'appareil électrique est donc, chez les poissons, un moyen d'attaque et de défense, et il entre en fonction à la manière d'un muscle qui reçoit son commandement d'un nerf moteur. Nous décrirons rapidement les diverses formes de cet appareil dans les cinq groupes de poissons électriques.

La torpille (*torpedo marmorata* Dum.) est un poisson cartilagineux de l'ordre des sépiens, assez semblable à la raie. L'organe électrique chez cet animal est situé de chaque côté du corps; il est composé par un très grand nombre (plus de 300) de petites colonnettes placées verticalement, allant du dos vers le ventre.

Ces petits tubes membranux sont serrés les uns contre les autres comme les alvéoles dans une ruche d'abeilles; ce sont de véritables piles, car chacun d'eux se compose de 1.500 à 2.000 rondelles membranueuses superposées, mais cependant séparées entre elles par des espaces d'environ deux centimètres de millimètre remplis d'un liquide albumineux. Tout l'appareil reçoit de nombreuses ramifications des nerfs pucumogastriques (huitième paire ou nerfs spinaux).

Dans cet appareil, le courant va de la face dorsale à la face ventrale. Quoiqu'il soit beaucoup moins puissant que les gymnotes, les torpilles peuvent cependant donner des secousses assez fortes pour engourdir le bras de celui qui les touche. Elles se servent même habilement de ce moyen pour s'emparer de leur proie.

Dans ces dernières années, on a constaté que cette propriété est sous la dépendance du lobe postérieur de l'encéphale, et qu'en détruisant ce lobe ou en coupant les nerfs qui en partent on anéantit la faculté de produire des commotions.

Nous avons dans nos mers plusieurs espèces de torpilles; elles fréquentent principalement les côtes de la Vendée et de la Provence.

C'est M. Robin qui, en 1847, découvrit l'appareil électrique des raies; mais ce n'est qu'en 1865 qu'il put déterminer dans quelles circonstances se font les décharges.

C'est dans sa thèse de zoologie pour le doctorat des sciences (Paris, 1847), et dans les mémoires insérés par lui aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (juillet-août 1865), que nous puissions les faits principaux. Sous beaucoup de rapports l'appareil électrique des raies est semblable à celui des torpilles, mais il en diffère par sa position. Au lieu d'être situé en avant du corps, comme chez ces dernières, il est placé sur les côtes de la queue. Quant à la direction du courant, elle va toujours de l'extrémité céphalique vers l'extrémité caudale; les effets pro-

duits sont beaucoup moins intenses que chez les torpilles, et ne se manifestent d'ordinaire que quelques minutes après l'excitation. Pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur aux travaux si remarquables du célèbre histologue.

Si nous arrivons maintenant au groupe des poissons d'eau douce, nous verrons changer la disposition générale de l'appareil électrique. Le gymnote, ou anguille de Surinam (*Gymnotus electricus* L.), appartient à l'ordre des malacoptérygiens apodes; il est donc fort voisin de notre anguille commune, dont il ne diffère que par l'absence de nageoires à la queue.

Les colonnettes, chez le gymnote, vont de la tête à la queue, et comme l'animal a le corps très allongé, ces colonnettes sont beaucoup plus longues que celles de la torpille. Elles sont situées de chaque côté de la ligne médiane et atteignent quelquefois une longueur de 0m,60. Le courant est dirigé de la tête à la queue. On compte jusqu'à quarante-huit séries de colonnettes composées chacune de 4.000 rondelles séparées par du liquide interposé. Suivant M. Pacini, chaque diaphragme serait composé de deux parties séparées entre elles par un liquide; l'une serait le *corps fibrillaire* et l'autre la *lamelle fibrillaire*. Selon cet observateur, la membrane fibrillaire aurait pour but de séparer les deux liquides, comme le fait le vase de terre poreuse dans la pile de Bunsen. Les commotions électriques que donne le gymnote sont assez fortes pour renverser hommes et chevaux. Les premiers décharges sont en général faibles; mais quand l'animal est irrité et agité, elles deviennent de plus en plus vives et sont alors terribles. Au reste, quand le gymnote a ainsi produit un certain nombre de secousses, il s'épuise et a besoin d'un repos pour produire de nouveaux chocs. C'est même grâce à cette intermittence que les Américains des Cordillères ou des bords de l'Orinoco s'emparent du gymnote. Ils font passer, dans les mares où se trouvent ces poissons, une troupe de chevaux sauvages ou de mulets; les gymnotes fondroient quelquefois ces malheureux animaux, puis tombent épuisés; les Indiens s'en emparent alors sans danger, soit avec des filets, soit avec des harpons. Telle est, du moins, la narration de Humboldt à ce sujet.

Le mormyre (*Mormyrus longipennis*) de Ruppert est un malacoptérygien abdominal de la famille des ésoques; son appareil électrique diffère peu de celui des gymnotes. Il est disposé sur les deux côtés de la queue et se compose de quatre colonnettes placées longitudinalement deux par deux. Vient enfin le malapterure (ou *malapterurus electricus*). Il appartient à la classe des malacoptérygiens abdominaux et à la famille des malapterures, dont il est le type. Son organisation est très voisine de celle des carpes, des brochets, etc. L'appareil électrique dont il est pourvu diffère beaucoup de celui des autres poissons. Il est formé de plans se coupant en tous sens et limitant dans ces enchevêtrements de petites cavités d'environ 1 millimètre cube de capacité, remplies d'un liquide albumineux. Il en résulte une masse alvéolaire développée tout autour du corps de l'animal; de telle sorte que les viscères et tous les organes occupent le centre. Une couche abondante de graisse sépare l'animal de son appareil électrique. Dans de semblables conditions, le courant ne peut pas avoir de direction fixe déterminée, et la décharge peut partir d'un point quelconque du corps, excepté toutefois du museau et des nageoires, qui sont complètement en dehors de l'appareil.

Il paraît que ce poisson produit des secousses assez fortes, car il est un objet de terreur pour les habitants des bords du Nil et du Sénégal. Les Arabes,

dans leur langage imagé, lui ont donné le nom de *raasch*, tonnerre.

Nous terminerons cette rapide notice par quelques considérations générales sur l'appareil électrogène. Les petits prismes ou les colonnettes dont nous avons parlé, et qui forment la base des appareils électriques, sont formés d'une substance particulière, homogène, demi-transparente, et à laquelle M. Ch. Robin a donné le nom de *tissu électrique*. Les disques qui concourent à la formation de ces colonnettes sont séparés entre eux par des cloisons du tissu cellulaire dans lesquelles arrivent les vaisseaux et les nerfs, ces derniers venant toujours des nerfs moteurs. Ces capillaires ne se ramifient pas dans le disque, mais s'enfoncent en décrivant des flexosités dans les excavations ou alvéoles creusés dans ces disques. Tout l'appareil est enveloppé d'une couche de tissu lamineux.

Électrogène d'Hannay. — Appareil employé pour empêcher l'incrustation et la corrosion des chaudières à vapeur de tous systèmes.

On connaît les effets produits par les incrustations dans les chaudières à vapeur; on a imaginé un grand nombre de moyens pour les éviter; mais ces moyens présentent tous des inconvénients. M. Hannay, ingénieur à Glasgow, paraît avoir résolu le problème d'une façon simple en se basant sur ce principe : Lorsqu'on plonge deux métaux dans un liquide et qu'on les relie métalliquement, les substances électro-positives se portent sur l'un des métaux et les substances électro-négatives sur l'autre.

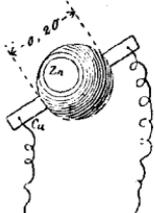
Or, dans un générateur, il faut obtenir les résultats suivants :

1^o Empêcher la transformation des dépôts en boue;
2^o Empêcher les dépôts d'adhérer, et provoquer leur chute à l'état d'écaillés solides et très minces.

L'appareil qui permet d'atteindre ces deux buts se compose d'une masse de zinc traversée par une tige de cuivre à laquelle sont soudés deux fils de même métal.

Cette masse est de forme sphérique et la chaudière est un corps formé d'une seule boîte; elle a une forme cylindrique d'un diamètre convenable si la chaudière est tubulaire. On l'immerge complètement dans l'eau et on soude les deux fils aux parois de la chaudière. (Cette dernière condition est essentielle pour assurer un bon contact.) Enfin on jette dans l'eau du sel marin dans la proportion de 4 kilogrammes par mètre cube de liquide. Une fois l'appareil mis en place, on n'a plus besoin de s'en occuper; sous l'influence de la haute température à laquelle il est porté, il y a attaque du zinc et décomposition de l'eau. L'oxygène se porte sur le zinc (substance électro-positive) et l'hydrogène sur le fer qui constitue le générateur. Au bout d'un laps de temps qui varie suivant la durée et l'ancienneté des incrustations, il y a décollement du tartre sur toute la surface de la chaudière, qui est, comme on le voit, transformée en une immense pile. Lorsque les anciennes incrustations sont détachées, la production de l'hydrogène empêche les nouvelles d'adhérer.

L'appareil fonctionne pendant six mois environ sans altération sensible d'énergie. Après ce temps, il con-



vient de le remplacer. Son prix est peu élevé et les électrodes sont utilisables.

Ces résultats n'ont pas été accueillis tout d'abord avec confiance par le monde industriel; il paraissait étrange de voir une si petite cause produire des effets aussi considérables. Il a donc fallu des milliers d'applications pour affirmer l'efficacité du procédé. Il est utile de faire remarquer aussi que l'électrogène agit pas comme un précipitant, mais comme un *déplaceur*, de sorte que l'action est purement mécanique et que la composition de l'air n'a aucune influence sur les résultats obtenus.

L'électrogène est actuellement adopté par la marine anglaise; on fait des essais en grand sur les vaisseaux de la flotte française, dans certaines compagnies de chemins de fer, etc.

ELECTROGENÈSE ou ELECTROGENIE. — Production de l'électricité par les tissus vivants.

Ce sont MM. Béraud et Robin qui ont introduit dans la science le mot *électrogenèse*. Selon ces auteurs, l'électrogenèse serait le résultat de l'activité spéciale ou nutritive des tissus vivants, c'est-à-dire que ce phénomène ne serait point accompli par une espèce spéciale de tissu vivant, ni par un appareil particulier, mais serait « l'attribut physiologique de l'appareil considéré dans son ensemble comme un tout. Les résultats ne sont pas inhérents à telle ou telle partie du corps spécialement comme l'est la contractilité à la fibre musculaire, la reproduction à l'appareil générateur; mais ils sont le résultat de l'activité dont jouissent les éléments, tissus, organes, etc. » D'après ce principe, par le fait seul de la contraction d'un muscle, il doit y avoir dégagement d'électricité, absolument comme le fait seul de la nutrition occasionne dans l'économie animale un dégagement de chaleur. Il n'y a donc là qu'un cas particulier du grand problème de la transformation des forces. Cette électricité dégagée ne serait probablement qu'une certaine quantité de mouvement transformée en électricité et se manifestant à nous sous forme de COURANT.

De nombreuses et fréquentes expériences ont montré que, pendant la vie, les muscles, les nerfs, la moelle épinière et le cerveau lui-même jouissent d'une certaine force motrice. La loi d'après laquelle agit cette force est d'ailleurs parfaitement définie; elle est la même pour les muscles et pour les nerfs. MM. Béraud et Robin avaient proposé de l'appeler « loi d'antagonisme des sections longitudinales et transverses ». Mais ici une difficulté se présente : à l'état de repos, les nerfs n'ont pas de section transverse naturelle : on n'a donc pu mesurer leur pouvoir électromoteur sans les avoir préalablement divisés. Pour les muscles, la question paraissait beaucoup plus simple, et pourtant une difficulté se présentait encore. Ces organes présentent bien, à l'état de repos, deux sections transverses naturelles; à leurs extrémités leur pouvoir électromoteur peut donc être apprécié sans qu'il soit pour cela nécessaire de les diviser. Mais il arrive souvent que cette force est plus ou moins cachée par l'action opposée d'une couche de tissu placée au-dessus de la section transverse naturelle. Les auteurs *cités* ont donné à cette couche de tissu le nom de *couche parélectromotrice* (du grec *para*, contre, *nomos*, loi et *electron*, électricité : qui est contre la loi de l'électroité). Que faut-il penser de ces courants? Faut-il les considérer comme les manifestations isolées propres à chaque muscle en particulier? Cela est peu probable, et on doit penser que ce ne sont que des manifestations affaiblies de courants beaucoup plus énergiques et beaucoup plus persis-

tants qui circulent à travers les nerfs et les muscles.

L'électrogenèse étant le résultat de l'activité ou de la nutrition d'un organe, ce phénomène doit cesser avec la vie; c'est en effet ce qui a lieu. Mais de même que nous voyons l'excitabilité persister dans la fibre nerveuse et dans la fibre musculaire un certain temps après la mort, de même la cessation du pouvoir électromoteur n'a pas lieu immédiatement. On a même remarqué, fait assez singulier, que le pouvoir électromoteur persiste le même temps que la contractilité des fibres musculaires. Un autre fait également digne de remarque, c'est que le pouvoir électromoteur d'un organe est en raison directe de la contractilité des fibres musculaires, ce qui vient confirmer l'hypothèse que nous émettions plus haut sur la transformation d'une certaine quantité de mouvement en électricité. A l'état de repos, les muscles développent un courant électrique de sens opposé à celui qu'ils développent pendant les contractions. MM. Béraud et Robin concluent de là que la force électromotrice de la couche parélectromotrice persiste pendant la contraction. Mais pendant les contractions permanentes ce courant musculaire inverse ou négatif persiste-t-il? On peut, dès aujourd'hui, se prononcer pour la négative, ou, du moins, dire qu'il n'est pas permanent. Son mode d'action consiste alors en une série de petits courants souvent interrompus, d'intensité très variable.

Une expérience fort intéressante a même été entreprise à ce sujet par MM. Béraud et Robin. Ces deux expérimentateurs ont pris une partie quelconque d'un nerf et l'ont soumise à l'action d'un courant continu de sens déterminé. Un changement se manifeste alors dans l'état électrique du nerf. Ce changement est immédiat et a lieu dans toute l'étendue du nerf; l'état électrique disparaît même complètement en rompant le circuit. C'est ce changement d'état que les deux savants observateurs ont désigné sous le nom d'*état électrotonique*. Il peut d'ailleurs être facilement mis en évidence par le nouveau pouvoir électromoteur qu'acquiert toutes les parties de la longueur du nerf pendant le passage du courant; car alors il se produit, outre le courant ordinaire, un courant qui se dirige dans une direction tout opposée. MM. Béraud et Robin expliquent la production d'électricité dans ces conditions par le résultat des actions chimiques dont l'économie est le siège. « Il n'y a pas, dans l'économie, d'autre production d'électricité que celle dont il vient d'être question; elle paraît être le résultat des actes chimiques d'assimilation et de désassimilation qui caractérisent la nutrition. Aucune des hypothèses faites sur la cause de ces phénomènes, autres que celle-ci, n'a pu résister à l'examen des faits. » (Robin, *Dictionnaire de médecine*.)

On doit à M. Scoutetten une observation assez importante, et qui mérite d'être signalée : ce savant séparait, au moyen d'une cloison poreuse (badouche, terre de pipe, etc.), les deux sangs veineux et artériel; peu à peu les deux liquides arrivaient au contact l'un de l'autre, et de ce mélange résultait un dégagement sensible d'électricité. Il avait même cru pouvoir affirmer l'existence d'un courant électrique cheminant du sang veineux vers le sang artériel, et avait voulu établir l'existence de ce fait chez les animaux vivants; mais la réalité de ce courant reste encore à démontrer.

Il ne faudrait point confondre cette production d'électricité avec celle que l'on observe chez certains poissons (torpille, raie, gymnote, etc.); chez ces animaux l'électricité nait d'un appareil spécial et n'est point le résultat physiologique du jeu des organes. (V. ELECTROGENÈME.)

ÉLECTROGRAPHIE. — Branche de la GALVANOPLASTIE qui a pour objet de produire des planches gravées en creux ou en relief par l'action directe d'un COURANT ÉLECTRIQUE. » Nom donné par quelques auteurs à la TÉLÉGRAPHIE électrique, quand les appareils enregistrent eux-mêmes les dépêches.

ÉLECTROHARMONIQUE (Appareil). — Appareil télégraphique dans lequel des sons sont reproduits avec leur hauteur mais non avec leur timbre.

ÉLECTROLECTEUR. — Appareil électrique pour la lecture des aveugles. L'appareil consiste en un TÉLÉGRAPHE AUTOGRAPHIQUE ayant pour but de reproduire en relief les différents caractères imprimés ou écrits sur une surface plane et de suppléer ainsi aux impressions en relief usitées dans les établissements des aveugles et qui revient fort cher. L'électrolecteur a été imaginé par M. Recordon en 1871, et perfectionné par MM. Recordon et Turetlini en 1874.

ÉLECTROLYSABLE. — Qui peut être électrolysé, décomposé par l'électricité.

ÉLECTROLYSATION ou ÉLECTROLYSE. — Action d'électrolyser, de décomposer par l'électricité; décomposition opérée par les COURANTS ÉLECTRIQUES.

ÉLECTROLYSE. Méth. Effet électrolytique. (V. GALVANO-CAUSTIQUE.)

Électrolyse de l'eau et des composés binaires. — L'appareil (fig. 1) se compose d'un vase dont le fond est recouvert d'une couche de mastic isolant, traversée par deux électrodes de platine, qui sont recouvertes chacune d'une éprouvette graduée. On verse de l'eau dans ce vase. Dès que le circuit électrique est fermé, on voit de petites bulles de gaz se détacher des électrodes et monter dans les éprouvettes; le gaz recueilli au-dessus de l'électrode positive est de l'oxygène, l'autre est de l'hydrogène; le volume du premier est double du volume du second. L'ensemble de l'appareil s'appelle VOLTA-MÈTRE.

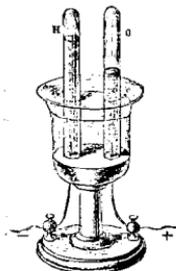


Fig. 1.

La méthode employée pour l'eau est applicable à tous les liquides binaires et à toutes les dissolutions de composés binaires. Toutefois, si l'électrolyte est mauvais conducteur, il faut y ajouter quelques gouttes d'un autre liquide qui soit bon conducteur. L'eau pure, par exemple, se décompose très lentement; mais, lorsqu'on y verse quelques gouttes d'acide sulfurique, l'opération est aussitôt activée. La chaleur favorise également la décomposition.

M. D. Tommasi s'est parvenu récemment à décomposer l'eau chimiquement pure à l'aide du courant électrique. Il a mis de l'eau distillée dans un tube en U analogue à celui représenté fig. 2, et a fait plonger dans chaque branche une électrode en platine. Si on relie ces deux électrodes à une pile composée de trois éléments Daniell, on n'obtient rien; mais si l'on remplace l'électrode positive par un fil d'argent on constate, au bout de quelques heures, que la partie

courbe du tube s'est recouverte d'une couche d'oxyde d'argent partiellement réduit par une action secondaire. Comme l'argent ne décompose pas l'eau à la température ordinaire, M. D. Tommasi en conclut que l'oxydation de ce métal est due à la décomposition de l'eau et que le courant a traversé l'eau distillée. Ainsi, d'après cet électricien, l'eau peut s'électrolyser même par le courant fourni par une pile très faible, pourvu que les calories dégagées par cette pile soient au moins égales à celles absorbées par l'eau pour se décomposer en ses deux éléments, environ 69 calories pour H₂O.

Si la substance des électrodes était susceptible de se combiner avec un des éléments de la décomposition, cette combinaison s'effectuerait, et le résultat en serait compliqué. Supposons, par exemple, que l'électrode positive puisse, dans les circonstances de l'opération, se combiner avec l'oxygène: cet oxygène entrant en combinaison à mesure qu'il se forme, l'éprouvette n'en contiendrait aucune trace. L'oxyde qui se produit, s'il est soluble dans le bain, devient soit l'acide, soit la base d'un sel en formation. S'il est insoluble, il devient lui-même électrode (pourvu qu'il soit conducteur), et l'action continuant, un peu d'oxygène libre peut apparaître. Mais, si l'oxyde est tout à la fois insoluble et mauvais conducteur, il se précipite, et l'électrolyse cesse.

Quand l'oxyde est soluble, avons-nous dit, il devient soit l'acide, soit la base d'un sel en formation. Si ce sel est insoluble, il se précipite; s'il est soluble, il éprouve généralement une décomposition.

Dans la décomposition des acides oxygénés (acide phosphorique, acide sulfurique), l'oxygène apparaît toujours au pôle positif, et l'autre substance au pôle négatif.

Dans la décomposition des acides hydrogénés (acides bromhydrique, chlorhydrique, iodhydrique, sulfhydrique), l'hydrogène se manifeste toujours au pôle négatif, et l'autre substance au pôle positif.

Suivant M. D. Tommasi, l'électrolyse de l'acide chlorhydrique donne lieu aux remarques suivantes; les électrodes du voltamètre étant en platine, si l'acide est concentré, l'anode est attaquée par le chlore et elle se comporte dès lors comme une électrode soluble; si au contraire l'acide est dilué, il y a aussi dégagement de produits chlorés, mais le platine n'est plus attaqué.

Dans les composés binaires d'un métalloïde avec un métal (chlorures, bromures, iodures), le métal se porte au pôle négatif, et le métalloïde au pôle positif.

Électrolyse des sels.

— Prenons une dissolution d'un sel, contenant un oxyde métallique incapable de décomposer l'eau à la température ordinaire, et versons la dissolution dans un tube en U (fig. 2), dont chaque branche recevra une électrode de la pile. Le sel sera décomposé, le métal se déposera au pôle négatif, et l'acide, avec l'oxygène de la base, au pôle positif. Voici comment les chimistes expliquent cette décomposition: ils se représentent un sel comme un corps formé de deux éléments binaires:

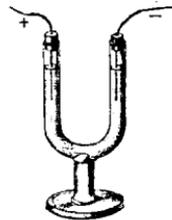


Fig. 2.

Sel { 1 oxyde métallique. MO.
1 radical acide... RO.

Le passage de l'électricité sépare ces deux éléments, comme il sépare les deux parties des composés binaires simples. Quand ces deux éléments sont séparés, l'un d'eux, RO, subit à son tour une nouvelle décomposition, par suite de laquelle le métal M reste seul au pôle négatif. Quand le courant est énergique, le radical RO peut être décomposé : son oxygène se rend au pôle positif, et l'autre substance au pôle négatif.

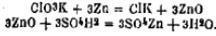
Quand le métal, qui fait partie du sel, peut dépasser l'eau à la température ordinaire, l'acide et l'oxygène RO₂O se portent au pôle positif, et le métal M, qui devrait se porter au pôle négatif, décompose l'eau, s'oxyde, dégage de l'hydrogène et un peu d'oxygène, qui se rendent chacun à leur pôle de préférence.

Si l'on soumet à l'action du courant un mélange composé de deux solutions salines, tantôt l'un des sels est seul complètement décomposé, tantôt ils le sont tous les deux, tantôt ils ne le sont qu'en partie. En général, le sel meilleur conducteur est le plus tôt décomposé. Le résultat se complique encore souvent de la décomposition de l'eau.

On sait que la décomposition de la potasse par la pile, et par suite, la découverte du potassium, est un des plus beaux titres de gloire de Davy.

Nous soumettons ici un résumé des expériences faites par M. D. Tommasi sur l'électrolyse de certains sels.

Électrolyse du chlorate et du perchlorate de potassium. — Une dissolution très diluée de chlorate de potassium, acidulée par quelques gouttes d'acide sulfurique, étant introduite dans un tube en U dans lequel plongent des électrodes en platine, n'est pas réduite par le courant d'une pile de 8 éléments Bunsen; mais si on remplace au pôle positif le platine par un cylindre de zinc chimiquement pur, il se forme autour de ce dernier un dépôt de chlorure de potassium. Le zinc pur n'étant pas attaqué par l'acide sulfurique étendu, et la petite quantité d'hydrogène libre que le zinc aurait pu développer ayant été certainement brûlée par l'oxygène produit pendant l'électrolyse, M. Tommasi en conclut que la réduction du chlorate doit être attribuée au zinc, qui s'unit à l'oxygène pour former de l'oxyde de zinc et transforme le chlorate en chlorure de potassium, conformément aux formules suivantes :



Le perchlorate de potassium dissous dans l'eau acidulée par de l'acide sulfurique et électrolysé par le courant d'une pile de 12 éléments Bunsen n'éprouve aucune réduction, alors même que l'on remplace l'anode en platine par une anode en zinc. Mais une solution de perchlorate ne contenant pas d'acide libre est décomposée par le courant avec production de gaz aux deux électrodes, et il y a transport de l'acide perchlorique hydraté à l'anode et de la potasse à la cathode.

Électrolyse de l'hydrate de chloral. — En plaçant un vase poreux contenant une dissolution à 2 % d'hydrate de chloral dans un vase en verre rempli d'eau acidulée par de l'acide sulfurique, en plongeant des électrodes en platine dans la solution de chloral et dans l'eau acidulée, et en faisant passer le courant d'une pile de 8 éléments Bunsen, on obtient un fort dégagement de gaz aux deux pôles. Après quelques heures de fonctionnement, le liquide contenu dans le vase poreux exhale une forte odeur de chlore et contient une certaine quantité d'aldéhyde résultant de la réduction du chloral. Il est singulier de voir le chlore et l'hydrogène se rendre tous deux en même temps

à la cathode sans qu'ils se combinent, au moins en partie, pour former de l'acide chlorhydrique.

Électrolyse des substances organiques. — C'est Davy, qui, le premier, décomposa certaines substances organiques en les soumettant tout le temps nécessaire à l'action d'un courant : le chair animale, feuilles de laurier, tiges de menthe... Depuis, on a encore décomposé l'opium, l'alcool, etc.

Électrolyse des acides organiques. — M. Bourgoïn a soutenu, devant la Faculté des sciences, sur l'électrolyse des acides organiques, le 6 mai 1868, une remarquable thèse dont nous croyons devoir donner un résumé. Dans le cours de ses recherches, il est parvenu à déceler des phénomènes souvent fort compliqués, et il a donné de l'électrolyse des acides organiques une théorie complète, fondée non sur des hypothèses, mais sur des faits positifs. Malheureusement il a conclu de son travail à l'abandon des formules de constitution que les chimistes atomistes emploient aujourd'hui pour représenter les acides, et cette conclusion non seulement ne découle pas de ses expériences, mais encore, si quelque chose s'en déduisait, ce serait plutôt l'inverse. Mais nous discuterons cette conclusion, lorsque nous aurons exposé la partie du travail qu'il nous est permis de louer sans réserve. Cette exposition doit précéder de toute nécessité la critique que nous devons faire de la conclusion.

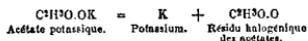
On sait que M. Kolbe, en électrolysant les acétates, avait obtenu du méthyle, ou plutôt de l'hydrure d'éthyle, puisque les expériences de Schorlemmer ont victorieusement prouvé que les soi-disant radicaux isolés des alcools gras ne sont, en réalité, que des hydrocarbures saturés de la série CⁿH²ⁿ⁺². On sait, en outre, que M. Wurtz, en électrolysant des mélanges de différents acides gras, avait obtenu des hydrocarbures auxquels il donna le nom de « radicaux mixtes ». M. Schorlemmer n'ayant pas encore, à cette époque, fait connaître la vraie nature de ces corps; qu'ainsi, en opérant sur un mélange de valérate, et d'acétylate de potassium, il avait donné naissance à l'hydrure d'éthyle C²H⁶, qui l'appela butyl-caproyle, en le formulant C⁸H¹⁸. C⁶H¹⁴. Enfin, M. Kolbe, en soumettant les lactates à l'action du courant, avait obtenu de l'aldéhyde. M. Kolbe, avait transformé, par le même procédé, l'acide maléique en éthylène, l'acide maléique et l'acide fumarique en acétylène; et M. Kolbe s'était assuré que l'acide bromomaléique, loin de donner, lorsqu'on l'électrolyse, de l'acétylène bromé, comme son analogue avec l'acide maléique aurait pu le faire supposer, donne de l'acide bromhydrique et de l'oxyde de carbons seulement. M. Berthelot, en dernier lieu, avait électrolysé l'acide acrotique, acide tribasique, dans l'espoir d'obtenir de la benzine; mais ses efforts étaient restés infructueux, et il n'avait obtenu que de l'oxyde de carbone plus ou moins mêlé d'acétylène.

Telles étaient nos connaissances sur l'électrolyse des acides organiques quand M. Bourgoïn s'est occupé de cette question. Elles n'avaient rien de général, et les faits que nous venons de rapporter brièvement semblaient si confus, si embrouillés, qu'on ne pouvait plus prévoir, en aucune manière, les résultats de l'électrolyse d'un acide quelconque.

M. Bourgoïn est parvenu à débrouiller complètement ce chaos. Nous allons exposer ses vues; mais nous le ferons en usant des formules atomiques, qui jettent sur ses propres travaux un jour bien plus grand que les formules dont il se sert, et ce sans qu'elles en sont l'expression plus fidèle, plus visible.

Un sel ou un acide étant donné, l'action fondamen-

taie que le courant exerce sur lui est la même, que l'acide soit minéral ou organique. Elle consiste à séparer le métal (hydrogène ou métal proprement dit) au pôle négatif, tandis que le résidu halogénique de l'acide se rend au pôle positif.

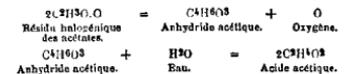


Le métal, suivant qu'il n'attaque pas l'eau, comme le cuivre par exemple, ou qu'il l'attaque, comme les métaux alcalins, se dépose à l'état de liberté ou donne un hydrate métallique et un dégagement d'hydrogène. Ainsi, dans le cas du potassium, il se dégage de l'hydrogène et il se forme de la potasse.

Quant au résidu halogénique, on peut admettre : ou bien qu'il décompose l'eau, s'empare de son hydrogène pour reconstituer l'acide et met l'oxygène de ce liquide en liberté, conformément à l'équation :



c'est l'opinion qu'a émise M. Naquet dans ses *Principes de chimie, fondés sur les théories modernes*; ou bien que ce résidu se décompose en oxygène qui se dégage et en acide anhydre, lequel se combine à l'eau pour reconstituer l'acide hydraté :

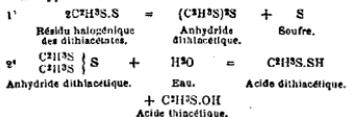


C'est la seconde de ces hypothèses que préfère M. Bourgois. Il est, jusqu'à présent, difficile de décider entre elles. Elles conduisent d'ailleurs au même résultat, puisque, quelle que soit celle des deux interprétations que l'on adopte, le fait capital, celui de la régénération de l'acide au pôle positif avec dégagement secondaire d'oxygène reste le même. Peut-être pourrait-on déterminer laquelle de ces deux hypothèses est vraie en électrolysant un acide sulfuré. Supposons, en effet, un acide sulfuré $\text{C}_2\text{H}_4\text{S}_2\text{SH}$ (un sel acide n'est pas connu, mais se produirait peut-être par l'action du sulfure de carbone sur le sodium-méthyle). Cet acide se décomposerait d'abord en H, qui irait au pôle positif, et $\text{C}_2\text{H}_4\text{S}_2\text{S}$, qui irait au pôle négatif. Quant à la réaction ultérieure, elle donnerait des produits différents suivant que notre interprétation ou celle de M. Bourgois serait exacte. Dans le premier cas, il se régénérerait de l'acide dithiétique, $\text{C}_2\text{H}_4\text{S}_2\text{SH}$; dans le second, il se formerait un mélange d'acide thiacétique, $\text{C}_2\text{H}_4\text{S}_2\text{SO}$, et d'acide dithiétique, $\text{C}_2\text{H}_4\text{S}_2\text{SH}$. On aurait en effet :

1^{re} hypothèse :



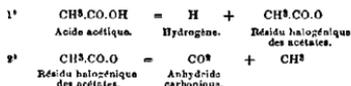
2^e hypothèse :



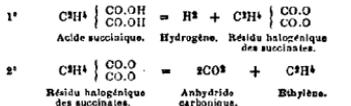
Quel qu'il en soit de ce point en litige, un fait reste établi : quand un sel organique est soumis à l'action du courant, le métal va au pôle négatif et le résidu halogénique va au pôle positif.

Mais à côté de ce premier fait il s'en place un se-

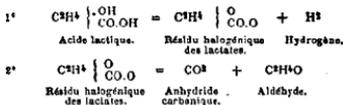
cond. Si le résidu halogénique ne présente pas une stabilité suffisante, au lieu de régénérer l'acide par une des deux réactions dont nous venons de parler, il se scinde en anhydride carbonique et en un corps nouveau, oxygéné ou non, suivant que l'acide a une atomie plus grande que sa basicité ou une atomie égale à sa basicité seulement. Ces considérations font bien saisir en quoi consiste cette première réaction secondaire, que M. Bourgois appelle avec raison la *réaction caractéristique de l'acide organique*. Elles montrent comment il se fait que l'acide acétique donne de l'hydrure d'éthyle, l'acide succinique de l'éthylène, l'acide lactique de l'aldéhyde, ainsi qu'on peut s'en assurer à l'inspection des équations suivantes :



Comme CH_2 ne peut pas exister à l'état de liberté, il se double et forme l'hydrure d'éthyle C_2H_6 .



Comme l'éthylène ne peut exister à l'état de liberté, il se dégage sans se doubler.

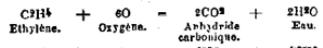


Cela posé, dans quelles conditions l'acide se régénérera-t-il? Dans quelles conditions, au contraire, la réaction caractéristique de l'acide organique aura-t-elle lieu? Ici interviennent nécessairement des conditions de stabilité. Lorsque l'acide organique est extrêmement stable, comme l'acide benzoïque, il est évident qu'il tendra à se régénérer et que la réaction caractéristique n'aura jamais lieu. L'acide est-il moins stable, il se régénérera ou donnera la réaction caractéristique suivant les conditions dans lesquelles se trouvera le résidu halogénique.

Si ce résidu se trouve au sein d'une liqueur légèrement alcaline, l'anhydride carbonique ayant une grande tendance à se combiner à l'alcali pour former un carbonate, la réaction caractéristique aura lieu. Si, au contraire, la liqueur est neutre, l'anhydride carbonique n'ayant plus rien qui le sollicite à se séparer du résidu organique auquel il est uni, le résidu halogénique agira d'ensemble, et l'acide se régénérera.

Enfin, lorsqu'on opère au sein d'une liqueur fortement alcaline, la réaction devient beaucoup plus compliquée. L'alcali, décomposé par le courant en même temps que le sel organique, fournit de l'oxygène naissant. Cet oxygène se porte sur le produit de la réaction caractéristique et l'oxyde, soit complètement, soit incomplètement, en donnant naissance à des composés divers qui peuvent aller jusqu'au corps complètement brûlé, tels que l'eau et l'anhydride carbonique. C'est ainsi qu'avec l'acide succinique en présence d'un excès d'alcali on obtient ou bien simplement de l'eau et de l'anhydride carbonique, ou

bien un mélange d'eau, d'anhydride carbonique et d'acétylène, suivant que l'éthyle est ou n'est pas complètement brûlé.



En somme, lorsqu'on électrolyse un sel organique dans une liqueur neutre, il se sépare : le métal va au pôle négatif, et au pôle positif se rend le résidu halogénique, qui au contact de l'eau régénère l'acide et donne lieu à un dégagement d'oxygène, quelle que soit la manière d'interpréter ce fait.

Lorsqu'on opère dans une liqueur légèrement alcaline, et que l'acide n'a pas une extrême stabilité, le résidu halogénique se détruit en anhydride carbonique, qui se porte sur l'alcali, et en un résidu, oxygéné ou non, suivant les cas, qui se dégage directement ou après s'être doublé; enfin, si la solution est très alcaline, l'oxygène naissant, provenant de la décomposition de l'alcali, se porte sur le produit de la réaction caractéristique et le transforme en composés plus ou moins complètement oxydés.

Tels sont les faits qui ressortent jusqu'à l'évidence des expériences nombreuses de M. Bourgoin. Ce chimiste les a démontrés par l'électrolyse de l'acide acétique libre et des acétates, de l'acide formique et des formiates, de l'acide benzoïque et des benzoates, de l'acide oxalique et des oxalates, de l'acide succinique et des succinates, de l'acide tartrique et des tartrates, dans une liqueur neutre, légèrement alcaline ou très alcaline. Il a également électrolysé des mélanges d'acétate et de formiate, de formiate et de benzoate, de benzoate et d'acétate; et, dans tous les cas, les faits ont été d'accord avec la théorie que nous venons d'exposer.

Par ce travail, M. Bourgoin a rendu un véritable service. Ces recherches, qui n'ont pas duré moins de dix-huit mois et qui souvent ont été fort pénibles et ont exigé une main habile et exercée, ont résolu un problème très compliqué. Malheureusement, nous le répétons, M. Bourgoin a conclu, sans raison, à l'abandon des formules rationnelles; nous allons démontrer que cette conclusion n'est pas justifiée.

Le principal argument de M. Bourgoin est celui-ci : d'après la théorie atomique, l'acide formique diffère de l'acide acétique en ce qu'il renferme de l'hydrogène au lieu du radical méthyle. Or, puisque dans l'électrolyse de l'acide acétique il se dégage du méthyle (hydrure d'éthyle) au pôle positif, il doit, dans l'électrolyse de l'acide formique, se dégager de l'hydrogène au pôle positif. Ce fait ne se produisant point, la théorie est condamnée.

M. Bourgoin s'attache à démontrer qu'il n'existe pas d'éthyle et de méthyle dans tel ou tel corps, comme s'il existait des radicaux déterminés dans les composés organiques. D'après les lois de l'atonicité, voici ce que représente l'expression *radical composé* :

Étant donné 1 atome tétraatomique, je suppose, comme 1 atome de carbone, cet atome peut se saturer par 4 atomes monoatomiques, comme dans le gaz des marais CH_4 . Il peut aussi se saturer partiellement par un autre atome de carbone et former ainsi des groupes dont l'atonicité sera égale à n fois l'atonicité du carbone, soit à $4n$, moins $2n - 2$, $2n - 2$ représentant le nombre d'atonicités perdues au minimum par la saturation des n atomes de carbone qui se sont unis et qui achèveront de se saturer en s'ajoutant des éléments d'atonicité diverse, l'hydrogène monoatomique par exemple. C'est ainsi qu'on aura les hydrocarbures C_2H_6 , C_2H_4 , etc.

Considérons l'hydrocarbure C_2H_6 et transformons-le en chlorure d'éthyle. Les propriétés et l'analyse du chlorure d'éthyle, aussi bien que les conditions dans lesquelles ce corps se produit au moyen de l'hydrure d'éthyle, démontrent que ce corps répond à la formule $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$. Un des 6 atomes d'hydrogène de l'hydrure d'éthyle a donc été remplacé par du chlore, et des 2 atomes de carbone, qui tous deux étaient saturés dans l'hydrure d'éthyle par 3 atomes d'hydrogène, l'un est encore saturé par 3 atomes d'hydrogène, tandis que l'autre l'est par 2 atomes d'hydrogène et 1 atome de chlore, suivant la formule



Or, le chlore ayant des affinités tout à fait différentes de celles de l'hydrogène, il pourra arriver que, dans telles réactions où l'hydrogène ne pourra pas être séparé du carbone, le chlore le soit, de manière que ce métalloïde puisse être remplacé par d'autres corps simples ou par des groupes composés, tandis que le groupe C_2H_5 restera intact. On peut alors, dans toutes les réactions où le groupe C_2H_5 n'est pas entamé, regarder ce groupe comme remplaçant un corps simple qui serait un ac chloré, au brome, etc., lui accorder une certaine existence propre, lui donner un nom. C'est à ce titre que l'on nomme le composé $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ *chlorure d'éthyle*, en donnant au groupe C_2H_5 le nom d'*éthyle*. On peut aller plus loin. Pour faire l'analyse du groupe C_2H_5 lui-même, ce qui jette un certain jour sur des réactions nombreuses, on peut dire qu'il représente du méthyle, CH_3 , dont 1 atome d'hydrogène est remplacé par du méthyle, et l'écrit $\text{CH}_3(\text{CH}_3)$. Au fond, lorsqu'on s'exprime ainsi, on n'entend nullement dire que le chlorure d'éthyle renferme un groupe distinct, un radical composé, dans le sens restreint que MM. Liebig et Berzelius attachaient jadis à ces mots. On n'entend pas dire non plus que l'éthyle renferme un groupe méthyle isolé remplaçant l'hydrogène dans un autre groupe méthyle. On exprime seulement ce fait, que le chlorure d'éthyle est formé de 2 atomes de carbone unis entre eux par une atonicité et se saturant, l'un par 3 hydrogènes, l'autre par 2 hydrogènes et 1 chlore. On exprime que la molécule incomplète C_2H_5 , qui ne peut exister libre, est formée de 2 atomes de carbone unis par deux de leurs atonicités, et dont l'un est saturé par 3 atomes d'hydrogène, tandis que l'autre, combiné seulement à 2 atomes du même corps, possède encore une atonicité vacante.

Cela posé, reprenons l'argument de M. Bourgoin. Cette phrase : *l'acide acétique est de l'acide méthylformique*, exprime seulement que la formule rationnelle de l'acide formique est



tandis que celle de l'acide acétique est



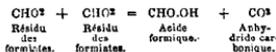
ou, ce qui revient exactement au même,



sans que pour cela nous admettions dans l'acide acétique un groupe méthyle distinct. Maintenant, lorsqu'on électrolyse un acétate au sein d'une liqueur

alcaline, on en retranche d'abord le métal, qui va au pôle négatif, puis de l'anhydride carbonique, qui se fixe sur l'alcali, et il reste le composé CH_2 , qui se double et qui va au pôle positif. Si, au contraire, on opère dans une liqueur neutre, le radical halogénique qui va au pôle positif y reconstruit de l'acide acétique, et, au lieu d'hydrure d'éthyle, il se dégage de l'oxygène.

Avec les formiates neutres, on n'aurait pas de peine à comprendre que la réaction fût la même, c'est-à-dire que le sel subit simplement l'action fondamentale du courant. Mais, avec les solutions alcalines, il devrait se dégager de l'hydrogène au pôle positif. Pourquoi ? Dans ce cas comme dans l'autre, M. Bourgoïn en convient, l'action première consiste à décomposer le formiate en métal, qui va au pôle négatif, et en résidu halogénique, CHO_2 , qui se rend au pôle positif. Ce qui se passera ultérieurement dépendra uniquement du degré de stabilité de l'acide formique et du résidu halogénique lui-même. Si ce résidu est assez stable, il prendra l'hydrogène de l'eau pour donner de l'acide formique, et on aura un dégagement d'oxygène ; s'il n'est pas plus stable que le résidu des acétates $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$, il donnera de l'anhydride carbonique, et il se dégage de l'oxygène au pôle positif : c'est ce que M. Bourgoïn espérait d'abord obtenir ; enfin, s'il est assez stable pour pouvoir reconstituer de l'acide formique, mais qu'il soit moins stable que l'eau, une portion de ce résidu empruntera l'hydrogène de l'autre portion, et l'on aura de l'acide formique et de l'anhydride carbonique suivant l'équation :



C'est ce dernier phénomène qui se produit.

Ainsi les expériences de M. Bourgoïn n'indiquent rien ni pour ni contre les formules de constitution dont nous nous servons. Si elles donnaient des indications, ces indications seraient bien plutôt favorables que contraires. En effet, lorsqu'on croyait que la production du méthyle, de l'éthylène, etc., résultait de l'action directe du courant, on pouvait jusqu'à un certain point s'étonner que l'hydrogène, saturant dans l'acide formique la même atomie de carbone qui, dans l'acide acétique, est satisfaite par le groupe CH_3 , ne pouvait s'étonner, disons-nous, que cet hydrogène ne s'éliminât pas exactement comme le groupe CH_2 s'élimine. Mais M. Bourgoïn nous ayant appris que la production de l'hydrure d'éthyle résulte, non de l'action fondamentale du courant, mais d'une décomposition secondaire qui peut se produire ou ne pas se produire, suivant le degré de stabilité des corps sur lesquels on opère, tout s'explique, toute difficulté disparaît.

Il est vrai que M. Bourgoïn prétend que les formules rationnelles fondées sur l'action du courant ne répondent à rien. En cela il a pleinement raison. Mais ces formules rationnelles sont loin d'être fondées sur l'action du courant. En admettant qu'au début elles aient été déduites de là, depuis elles ont été appuyées sur des preuves plus solides ; elles servent à exprimer tout un ensemble de réactions et de propriétés dont l'action du courant n'est qu'une bien infime fraction. Il suffit que cette action ne soit point en opposition avec elles ; et, dans notre exposition du travail de M. Bourgoïn, nous avons montré que non seulement cette opposition n'existe pas, mais qu'avec nos formules l'action du courant devient d'une simplicité extrême.

Concluons donc que M. Bourgoïn a consolidé par ses expériences la théorie atomique.

Équilibre thermique dans l'électrolyse. — M. D. Tommasi a fait une série de recherches pour déterminer la façon dont se comporte un composé susceptible d'être oxydé ou réduit lorsqu'il est mis simultanément en présence d'un réducteur (hydrogène électrolytique) et d'un oxydant (oxygène électrolytique), que l'on regarde comme deux forces égales et contraires. Voici la note communiquée à ce sujet par M. D. Tommasi :

« Théoriquement, deux cas seuls sont possibles :

1° Les deux forces se neutralisent, et alors le système reste évidemment en équilibre ; 2° l'une des forces l'emporte sur l'autre.

D'après les données thermiques, voici ce qui doit arriver : soit, par exemple, le système AB ; soumettons-le à une action chimique ($\text{H}_2 + \text{O}$) ; trois cas peuvent se présenter (1) :

(a) Le système AB ne subira aucune action si



c'est-à-dire si le composé AB dégage la même quantité de calories en s'oxydant ou en se réduisant.

(b) Le système AB se réduira si :



(c) Le système AB s'oxydera au contraire si :



Pour préciser, prenons un exemple :

Soumettons l'acide nitrique à l'action de ($\text{H}_2 + \text{O}$). Dans ce cas, la réduction de l'acide nitrique ne pourra avoir lieu que si l'hydrogénation de cet acide dégage plus de calories que l'oxydation de l'ammoniaque.

La formation de l'ammoniaque par la réduction de l'acide nitrique dégage :



Donc, l'acide nitrique sera réduit totalement par $\text{H}_2 + \text{O}$, sans qu'une réaction inverse puisse avoir lieu ; ce qui est confirmé pleinement par l'expérience.

Le mélange de $\text{H}_2 + \text{O}$ est obtenu par l'électrolyse de l'eau, à l'aide de trois éléments Bunsen au bichromate de potasse. Les gaz se dégagent ainsi dans le rapport de leurs poids moléculaires, et dans les mêmes conditions physiques et chimiques. Les électrodes sont en platine et très rapprochées. Le liquide sur lequel on opère est agité fréquemment, et le courant alternativement renversé.

Passons maintenant à la description des résultats obtenus, en soumettant quelques composés à l'action de ($\text{H}_2 + \text{O}$).

Acide nitrique + ($\text{H}_2 + \text{O}$). — L'acide nitrique employé contenait :

Acide nitrique. 10 centimètres cubes.
Eau distillée. . 50 centimètres cubes.

Pendant le passage du courant, on put constater un dégagement appréciable d'ozone.

Après cinq minutes, la quantité d'ammoniaque formée précipitait en rouge orange le réactif de Nessler.

La réduction de l'acide se fait avec un dégagement assez considérable de chaleur, comme l'indique la théorie. Après vingt-quatre heures, pendant les-

(1) On suppose, dans ces trois cas, qu'il faut le même nombre de calories pour commencer les réactions chimiques.

(2) \circ = calories de combinaison.

quelles le courant n'a cessé de passer, la solution précédente contenait encore une assez forte proportion d'acide nitrique. On dilua une certaine quantité de cette solution dans l'eau, et on soumit encore le nouveau mélange à l'action de ($H^2 + O$), et cela pour reconnaître si tout l'acide nitrique restant pouvait se transformer en nitrate d'ammoniaque. Après vingt-quatre heures, le liquide était devenu neutre; sa faible conductibilité électrique ne permettant plus de soumettre à l'électrolyse cette solution très étendue de nitrate d'ammoniaque, on opéra directement sur une solution concentrée de ce sel. Celle-ci, soumise à l'action du courant, devint alcaline au bout de quelques minutes, en dégageant une odeur très nette d'ammoniaque. La solution renfermait, en outre, du nitrite d'ammoniaque, mais pas d'hydroxylamine $AzHOH$.

La réduction du nitrate d'ammoniaque se produit donc en deux phases : transformation du nitrate en nitrite, et réduction de ce dernier en ammoniaque.

L'hydrogénation de l'acide nitrique a lieu de la même manière. Après quelques minutes, cet acide renferme du nitrate et du nitrite d'ammoniaque, ou plus probablement du nitrate d'ammoniaque et de l'acide nitreux.

On observe les mêmes réactions en soumettant à l'action de ($H^2 + O$) les nitrates de potasse et de soude. Bien que dans l'électrolyse du nitrate d'ammoniaque il n'ait pas été possible de constater la présence de l'hydroxylamine, pour être plus certain de l'absence de cette base dans l'action de ($H^2 + O$) sur les sels ammoniacaux, on a opéré sur une solution de sulfate d'ammoniaque (4).

Dans ce dernier cas, en effet, des traces d'hydroxylamine peuvent être facilement décelées. Après quarante heures d'expérience, la solution ne contenait pas la plus petite trace d'hydroxylamine. Il en est de même si l'on fait agir l'oxygène de la pile seul sur la solution de sulfate d'ammoniaque.

Nitrite de potassium + ($H^2 + O$). — La solution de nitrite renfermait du nitrate de potassium. On l'a préparée en faisant arriver un courant d'acide nitreux dans une solution de potasse.

En prenant 10 centimètres cubes de cette solution et les diluant dans 150 centimètres cubes d'eau distillée et acidulée par quelques gouttes d'acide sulfurique, on avait une liqueur qui décolorait 10 centimètres cubes d'une solution de permanganate de potasse. En soumettant alors 50 centimètres cubes de cette solution étendue de nitrite de potassium à l'action de ($H^2 + O$), on constata qu'elle avait acquis une odeur ammoniacale.

Après deux heures : 10 centimètres cubes de cette solution décoloraient 2,1 centimètres cubes de permanganate de potasse.

Après dix-huit heures : 10 centimètres cubes décoloraient 0,8 centimètres cubes de permanganate.

Après trente heures : 10 centimètres cubes décoloraient à 2 gouttes de permanganate.

On avait donc pu obtenir presque totalement la réduction du nitrite de potassium.

Pour être certain que le liquide ne contenait plus de nitrite, on en traita une partie par une solution de sulfate ferreux, et l'on n'observa pas la teinte caractéristique. De plus, en évaporant le reste à siccité, on n'obtint pas de vapeurs nitreuses par l'addition de l'acide sulfurique seul. On en observa, au contraire, avec le cuivre et l'acide sulfurique. On voit

(4) Des traces d'hydroxylamine étant difficiles à reconnaître en présence du nitrite provenant de la réduction du nitrate.

donc que le nitrite s'était transformé en ammoniaque, alors que le nitrate n'était pas encore entièrement réduit. Il l'aurait été probablement en prolongeant l'action de ($H^2 + O$). Ainsi, dans un mélange de nitrate et de nitrite, le premier ne se réduit que quand tout le nitrite est transformé en ammoniaque. On pourrait peut-être croire que la réduction du nitrite tient à ce que l'oxygène est sans action sur lui. Pour démontrer que cette supposition n'est pas exacte, on fit l'expérience suivante. Dans un tube de verre de 0^m,02 de diamètre, et dont la partie inférieure était fermée par un disque en parchemin, on introduisit la solution de nitrite de potassium. On enfouça de quelques centimètres le tube dans un cristalliseur contenant de l'eau acidulée, et on fit passer un courant électrique, l'électrode positive plongeant dans le tube et la négative dans le cristalliseur. De cette manière le nitrite de potassium n'était soumis qu'à l'action seule de l'oxygène.

Au bout de seize heures, le nitrite était entièrement transformé en nitrate.

Chlorate de potassium + ($H^2 + O$). — On soumit à l'action de ($H^2 + O$) une solution de chlorate acidulée par l'acide sulfurique. Après cent deux heures, le liquide avait laissé déposer une certaine quantité (0,939) d'une matière cristalline peu soluble dans l'eau froide et ayant l'aspect du perchlorate de potassium. Lavée à l'eau distillée, cette substance fut séchée à 120°. Une petite partie fut traitée par du zinc et de l'acide sulfurique dilué. Après six heures, le liquide fut filtré et additionné de nitrate d'argent, lequel ne troubla pas le liquide, ce qui montre que celui-ci ne contenait pas de chlorate. En outre, ce qui restait de la matière a donné, après calcination, la quantité de chlorure suivante :

Poids de la matière.	Chlorure de potassium.		
	Trouvé calc. p. ClO^2K	calc. p. ClO^2K	calc. p. ClO^2K
0,871	0,375	0,361	0,403

La matière analysée était donc du perchlorate de potassium avec traces de chlorate. Les eaux mères contenaient beaucoup de chlorate, mais elles ne renfermaient pas traces de chlorure.

Ainsi, il n'est pas nécessaire qu'une partie de l'acide chlorique se décompose pour donner naissance à de l'acide perchlorique, ce dernier acide se formant directement par la fixation de l'oxygène sur le chlorate. Cette réaction est déterminée en partie par la chaleur qui résulte de la décomposition de l'ozone (ce corps se produisant avec absorption de chaleur) et en partie par celle qui provient de la pile sous forme d'énergie électrique.

Action de ($H^2 + O$) sur les composés ferriques et ferreux. — Une solution diluée de sulfate ferrique, acidulée par quelques gouttes d'acide sulfurique et soumise à l'action de ($H^2 + O$), est réduite rapidement en sulfate ferreux. En effet, après cinq minutes seulement, une petite partie du liquide donnait avec le prussiate rouge un précipité bleu très abondant. Dans les mêmes conditions le sulfate ferreux, contrairement à ce que l'on aurait pu prévoir, est oxydé. L'oxydation de ce sel ne doit pas être attribuée à l'action de l'air, puisque la solution était recouverte d'une couche d'huile.

D'après ces deux expériences, plusieurs fois répétées, on peut conclure :

1° Que la réduction du sulfate ferrique, comme l'oxydation du sulfate ferreux, doit être partielle et jamais totale;

2° Qu'en opérant dans les mêmes conditions, la quantité du sulfate ferrique réduite doit être probablement équivalente à celle du sulfate ferreux oxydé.

Action de (H⁺ + O) sur le sulfate ferreux. — La solution sur laquelle on a opéré était très diluée : elle contenait 1,0668 gramme de sulfate ferreux, 100 grammes d'eau distillée et 10 grammes d'acide sulfurique. Dans deux verres à expériences on introduisit 50 centimètres cubes de cette solution; le tout fut recouvert d'une couche d'huile.

Le verre que nous appellerons A fut soumis à l'action de (H⁺ + O); l'autre, que nous désignerons par B, servit de témoin.

Après deux heures :

10 cent. c. de A contenaient 0,061341 de SO⁴Fe, 7H²O.
10 cent. c. de B — 0,106680 de SO⁴Fe, 7H²O.

Après trois heures :

10 cent. c. de A contenaient 0,061341 de SO⁴Fe, 7H²O.
10 cent. c. de B — 0,106680 de SO⁴Fe, 7H²O.

Après quatre heures :

10 cent. c. de A contenaient 0,061341 de SO⁴Fe, 7H²O.
10 cent. c. de B — 0,106680 de SO⁴Fe, 7H²O.

Il est superflu de dire que la solution de B ne rougissait pas par l'addition du sulfo-cyanate de potassium, et que celle de A se colorait fortement au rouge sang. L'oxydation du sulfate ferreux est partielle, elle correspond à 42 % du sel employé. Théoriquement, elle devrait être de 40 %.

Action de (H⁺ + O) sur le sulfate ferrique. — Voyons maintenant si le coefficient de réduction du sulfate ferrique est complémentaire du coefficient d'oxydation du sulfate ferreux.

On opéra sur une solution contenant 1,150 gramme de sulfate ferrique correspondant à 0,93345 % du sulfate ferreux.

Après deux heures :

10 cent. c. contenaient 0,053840 de SO⁴Fe, 7H²O.

Après trois heures :

10 cent. c. contenaient 0,058674 de SO⁴Fe, 7H²O.

Après quatre heures :

10 cent. c. contenaient 0,058674 de SO⁴Fe, 7H²O.

Le coefficient de réduction du sulfate ferrique est donc égal à 60 %. Théoriquement, il devrait être égal à 58 % pour correspondre à la quantité de sulfate ferreux non oxydé. On peut expliquer cette différence soit en admettant que les deux solutions n'aient pas la même degré de concentration, soit encore, comme il paraît plus probable, que les coefficients de dissociation dans l'eau de ces deux sels ne soient pas égaux (1).

Acide arsénique + (H⁺ + O). — Une solution diluée de cet acide, additionnée de quelques gouttes d'acide sulfurique, fut soumise à l'action de (H⁺ + O) (2).

Après vingt-six heures, cette solution ne contenait pas la moindre trace d'acide arsénieux. En effet, traitée à chaud par une solution très diluée de permanganate de potasse, elle ne la décolora pas. Pendant l'action du courant électrique, on ne put constater l'odeur caractéristique de l'hydrogène arsénié.

(1) Voir D. TOMMASI. « Détermination des coefficients de dissociation des corps dissous d'après les constantes thermiques », *Bulletin de la Société chimique*, 1885.

(2) La solution arsénicale doit être assez diluée pour ne pas laisser déposer d'arsenic au pôle négatif.

stater l'odeur caractéristique de l'hydrogène arsénié. Dans ce cas, la non-réduction de l'acide arsénique est due à ce que l'hydrogène, plus les calories fournies par la pile, sont insuffisants pour réduire l'acide arsénique. En effet, en faisant arriver seulement l'hydrogène, on peut tout au plus, au moyen de permanganate de potasse, déceler une légère réduction, même très douteuse.

La réduction de l'acide arsénique par l'hydrogène donne lieu à un dégagement de chaleur. Si donc on pouvait commencer la réaction entre l'hydrogène (provenant de la décomposition de l'eau par la pile) et l'oxygène de l'acide arsénique, on observerait probablement une réduction.

Arsénite de potassium + (H⁺ + O). — Une solution diluée d'arsénite, acidulée par quelques gouttes d'acide sulfurique, fut soumise à l'action de (H⁺ + O). 10 centimètres cubes de ce liquide décoloraient 12,6 centimètres cubes de permanganate de potasse non titré.

Après quatorze heures, 10 centimètres cubes du même liquide versés dans une solution tiède de permanganate très diluée ne la décoloraient pas. On peut donc considérer comme totale l'oxydation de l'arsénite. Une solution d'acide arsénieux est également transformée en acide arsénique par (H⁺ + O).

On peut résumer dans le tableau suivant les résultats consignés dans cette note :

Action de (H⁺ + O) sur différents composés.

COMPOSÉ INITIAL.	COMPOSÉ FINAL.
Acide nitrique.	Ammoniaque et nitrite.
Nitrate de potassium.	Ammoniaque et nitrite.
Nitrate de sodium.	Ammoniaque et nitrite.
Nitrite de potassium.	Ammoniaque.
Nitrate et nitrite de potassium.	1 ^{re} réduction : Nitrite en ammoniaque. 2 ^e réduction : Nitrate en nitrite et finalement en ammoniaque.
Sulfate ferrique.	Réduction partielle.
Sulfate ferreux.	Oxydation partielle.
Acide arsénique.	Pas de changement.
Arsénite de potassium.	Pas de changement.
Acide arsénieux.	Transformation en acide arsénique.
Arsénite de potassium.	Transformation en arséniate.
Chlorate de potassium.	Transformation en perchlorate.

De l'ensemble de ces recherches on peut déduire les lois suivantes :

- 1° Lorsqu'un corps sera soumis à deux réactions chimiques égales et contraires, celle qui dégage a le plus grand nombre de calories se produira de préférence, pourvu que la réaction puisse être commencée.
- 2° Entre deux réactions chimiques, celle qui exigera le moins de calories pour commencer se produira toujours de préférence, quand bien même, au total, elle dégagerait moins de calories.

Il est à observer que la combinaison ou la décomposition d'un composé ne dépend pas tant du nombre de calories qu'il a reçues que du mode vibratoire des molécules. Soit, par exemple, un composé AB; soumettons-le à deux actions thermiques qui dégagent l'une x calories, l'autre x + n, et supposons que cette dernière soit sans action sur le composé AB. On ne peut pas conclure de là que l'action thermique x ne puisse pas décomposer AB en ses éléments.

En effet, il pourra arriver que le mode vibratoire des calories α soit différent de celui des calories $\alpha + n$. Ceci explique diverses réactions chimiques qui, autrement, seraient difficiles à interpréter. Par exemple, parmi les sels halogénés de l'argent, le chlorure est celui qui s'allie le plus facilement sous l'action de la lumière, tandis qu'il absorbe plus de calories que le bromure ou l'iodeure en se décomposant. »

Combinaisons électro-chimiques. — Les faits de combinaison par l'électricité dynamique sont rares. Nous nous bornerons à mentionner, à cause des conséquences philosophiques qu'en lui a prêtées, la belle expérience exécutée le 24 mars 1802, par M. Berthelot, sous les yeux de l'Académie des Sciences. Notre éminent chimiste s'est servi de l'appareil en usage pour l'éclairage électrique, appareil dans lequel l'arc voltaïque jaillit entre deux pointes de charbon en produisant une poussière très divisée de cette substance, qui se transporte d'une pointe à l'autre. En faisant passer un courant d'hydrogène entre les deux pointes, pendant le trajet du charbon, l'hydrogène et le carbone se combinent et forment le produit connu sous le nom d'acétylène. A mesure qu'il se produit, l'acétylène est entraîné par le courant de gaz hydrogène, et vient se condenser dans une solution de protochlorure de cuivre, en produisant un beau précipité rouge d'acétylure de cuivre.

L'intérêt de cette expérience naît de ce qu'elle donne l'espoir de pouvoir reproduire directement les substances organiques dont la nature semblait s'être réservé jusqu'ici la création exclusive. En effet, en ajoutant de l'hydrogène à l'acétylène, on obtient le gaz oléifiant; avec celui-ci, on produit aisément de l'alcool... On tient ainsi un des anneaux de l'interminable chaîne des composés, dont l'ensemble constitue l'objet de la chimie organique.

Circonstances qui influent sur les phénomènes électrolytiques. — Pour que l'électrolyse ait lieu, il faut que le courant puisse se propager à travers le corps à décomposer et, par conséquent, que ce corps soit naturellement bon conducteur, ou rendu tel par l'addition d'une substance convenablement choisie. Cette condition étant remplie, la décomposition dépend, en outre, du nombre et de la grandeur des éléments de la pile employée, et de la température du bain. Il y a donc, pour chaque électrolyte, des conditions particulières et différentes de succès; nous nous contenterons de signaler les cas les plus généraux et les plus intéressants.

Un certain nombre de corps sont mauvais conducteurs à l'état solide et conduisent bien à l'état liquide. Il faut donc les décomposer pendant qu'ils sont en fusion. D'autres, étant chauffés, deviennent conducteurs avant d'atteindre leur point de fusion: tel est le verre. D'autres enfin restent toujours mauvais conducteurs, et ne sont jamais électrolysables, quel que soit l'état de leurs molécules. Tels sont le soufre, le phosphore, les huiles grasses, l'éther, etc.

La présence de substances mélangées à l'électrolyte peut tantôt favoriser, tantôt entraver la marche de l'opération, par les actions secondaires qui en résultent.

Transport des éléments de l'électrolyte. — Davy disposait à la suite les unes des autres trois capsules P, E, S (fig. 3), contenant: la première de la potasse, la deuxième de l'eau, et la troisième de l'acide sulfurique. Il les réunissait par deux mèches d'amiante mouillées A, A, et les faisait traverser par un courant. La potasse et l'acide étaient décomposés en même temps. Le potassium traversait

les mèches d'amiante et les liquides, et allait paraître à l'électrode négative, pendant que l'acide sulfurique SO_4 , abandonnant son hydrogène, marchait en sens inverse du potassium et se manifestait à l'électrode positive. En se rencontrant dans la capsule d'eau,



Fig. 3.

le potassium et l'acide sulfurique concentré formaient, il est vrai, du sulfate neutre de potasse; mais ce sel était aussitôt décomposé, en sorte que les éléments poursuivaient leur marche et atteignaient leur but comme s'ils n'eussent point été arrêtés dans le vase intermédiaire. Toutefois, il ne faut point que l'acide et la base, qui se rencontrent dans ce vase, soient susceptibles de former un sel insoluble, car alors ils se combineraient en donnant un précipité, et le transport n'aurait pas lieu.

L'expérience de Davy eut un grand retentissement et fut répétée dans tous les laboratoires. La médecine essaya d'en tirer parti pour faire transporter de l'intérieur du corps à l'extérieur les parcelles de substances métalliques qui peuvent être absorbées, ou, au contraire, pour faire pénétrer dans les tissus certains médicaments. Mais ce dont on s'occupa surtout fut de trouver une théorie capable d'expliquer les faits connus, d'en prévoir de nouveaux, de les relier tous ensemble. Nous allons exposer celle qui a été la plus généralement adoptée, et qu'on a appelée, du nom de son auteur, *théorie de Grotthus*. Elle date de 1805.

Davy et, après lui, Berzélius et Ampère, admettaient que les molécules possèdent une électricité qui leur appartient en propre, les unes la positive, les autres la négative: par exemple, toute molécule d'hydrogène est électrisée positivement, et toute molécule d'oxygène négativement. Quand deux molécules, ainsi chargées d'électricité contraire, se rencontrent, elles s'attirent, adhèrent l'une à l'autre et se combinent; on a un corps composé. D'après cette idée, on peut considérer la molécule d'un corps non simple comme formée par la réunion de 2, 3, 4, ... autres molécules, diversement électrisées et réunies par le fait de leurs attractions réciproques. Une fois la combinaison effectuée, la molécule composée résultante est constituée en électricité neutre. Si on vient à la décomposer, chacune des molécules élémentaires reprend son électricité constitutionnelle, et peut, par conséquent, en-

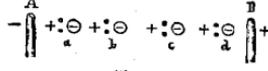


Fig. 4.

trer dans de nouvelles combinaisons. Par exemple, chaque molécule d'eau est composée de deux molécules d'hydrogène qui sont électrisées positivement, et d'une molécule d'oxygène qui est électrisée négativement. Nous pouvons donc représenter, comme l'a fait M. Daguin, une molécule d'eau au moyen de trois petits cercles, deux noirs pour l'hydrogène et un blanc pour l'oxygène. Soit donc (fig. 4) AB une file de molécules d'eau étalée entre les deux électrodes d'une pile. De quelle manière s'orienteront-elles? L'électrode

A étant négative attirera les molécules d'hydrogène qui sont positives ; pareillement, l'électrode B attirera les molécules d'oxygène. Les molécules d'eau se tourneront donc de manière que leur hydrogène regarde vers A, et leur oxygène vers B. La tension devenant plus grande, les molécules d'eau se dissocient : ainsi la molécule *a* se sépare en hydrogène qui va au pôle négatif, et en oxygène qui marche vers la molécule *b*. En même temps, l'oxygène de la molécule *d* se rend au pôle positif, et son hydrogène marche vers la molécule *c*. Mais les molécules *b* et *c* sont déjà détruites ; l'hydrogène de la première s'est combiné avec l'oxygène de *a* ; l'oxygène de la seconde en a fait autant avec l'hydrogène de *d* ; on a ainsi de nouvelles molécules d'eau, dont la décomposition commence aussitôt et s'effectue comme celle des premières. Il y a donc une série de décompositions simultanées, suivie d'une série de combinaisons. A chaque fois, l'oxygène avance d'un rang vers A, et l'hydrogène d'un rang vers B, de façon que le même nombre de molécules d'eau, moins une, se reconstitue, puis se décompose, jusqu'à ce que l'opération soit achevée.

S'il s'agit d'un sel, l'explication est la même. La molécule du sel est toujours composée de molécules simples dont les unes sont positives et les autres négatives ; elles s'orientent de telle manière que les molécules positives soient tournées et tendent vers l'électrode négative, et les molécules négatives vers l'électrode positive. Puis, la tension augmentant, la décomposition se fait.

Cette théorie, qui est fondée sur une hypothèse non vérifiée jusqu'à présent, soulève une objection qu'on réfute par une seconde hypothèse tout aussi gratuite. En effet, s'il est vrai, comme on vient de le supposer, que toutes les molécules des corps soient douées d'une électricité propre et, pour ainsi dire, constitutionnelle, deux métalloïdes, qui sont tous deux électro-négatifs, doivent être incapables de se combiner. Par exemple, l'hydrogène étant essentiellement électro-positif, et l'oxygène essentiellement électro-négatif, comment expliquer que le soufre se combine si facilement avec ces deux gaz, qu'il soit électro-négatif avec le premier et électro-positif avec le second ; en un mot, que son état électrique varie suivant l'élément en présence duquel on le met ? On explique les faits de cette classe en disant que les molécules peuvent, suivant les cas, et par le fait de leurs actions mutuelles, s'électrifier positivement ou négativement, mais toujours de manière qu'au moment d'entrer en combinaison elles soient chargées d'électricités contraires et en quantités égales. C'est ainsi que le soufre est négatif dans les sulfures métalliques, et positif dans les acides oxygénés.

La théorie de Grothuss étant classique, nous avons dû la faire connaître. Mais nous ne suivrons pas plus loin, dans leurs solutions hypothétiques et toujours défectueuses, les ingénieux esprits qui ne peuvent résister à la tentation d'expliquer les faits avant de les bien connaître.

Lois de Faraday. — C'est à l'illustre électricien anglais que l'on doit la découverte des belles lois qu'il nous reste à faire connaître.

« Quand un même courant parcourt successivement plusieurs électrolytes, les poids des éléments séparés en même temps sont entre eux comme leurs équivalents. Le procédé expérimental étant le même pour tous les cas, nous nous bornerons à indiquer celui qu'on peut employer à l'égard des dissolutions salines. Plaçons à la suite les uns des autres un voltamètre contenant de l'eau acidulée, puis plusieurs autres voltamètres contenant des dissolutions salines,

telles que sulfate de cuivre, azotate d'argent, acétate de plomb, etc. L'eau dans le premier voltamètre, et les différents sels dans les autres, seront décomposés ; l'oxygène se dégagera à l'électrode positive, et le métal se portera sur l'électrode négative. Or, l'opération étant terminée, on constate d'abord que tous les électrolytes ont donné le même volume d'oxygène ; et, en second lieu, que le poids de l'hydrogène dégagé du premier appareil et les poids respectifs des métaux déposés soit entre eux comme les équivalents chimiques de ces substances (hydrogène, cuivre, argent, plomb). Cette expérience exige une grande habileté pour recueillir et peser les corps, et une grande attention pour éviter les interventions chimiques secondaires qui obscurciraient infailliblement le résultat.

« Dans l'expérience que nous venons de rapporter, le courant traverse successivement plusieurs électrolytes ; donc : *La puissance chimique d'un courant est la même dans toutes ses parties.*

« *La quantité de substance décomposée est proportionnelle à l'intensité du courant.* En effet, supposons (fig 5) trois voltamètres égaux A, B, C. Au sortir du

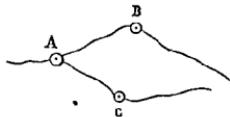


Fig. 5.

premier, le courant se sépare en deux rameaux identiques en substance, section et longueur, qui traversent les deux voltamètres B et C, et se rejoignent après. Il est évident que, dans les parties où le conducteur est unique, c'est-à-dire avant d'arriver en A, le courant a une intensité totale déterminée, et que les flux électriques qui parcourent les deux branches ont une intensité moitié moindre. Or, après un temps quelconque, on trouve dans chacun des appareils B et C des quantités de gaz égales entre elles, et égales à la moitié de celle que contient A. Donc, etc...

APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Emploi de l'électrolyse pour l'analyse chimique quantitative des métaux. — Depuis fort longtemps déjà on se sert, dans les laboratoires, de l'électrolyse pour l'analyse chimique quantitative des métaux. Nous croyons intéressant de reproduire ici les indications données à ce sujet par M. Moore pour effectuer le dosage de certains métaux :

« Lorsque les dissolutions contenant du fer, du cobalt, du nickel, du zinc, du cadmium, de l'aluminium, du chlorure ou du manganèse sont traitées par l'acide phosphorique et le carbonate d'ammoniaque, puis électrolysées, les cinq premiers métaux sont complètement précipités, le chlorure passe à l'état de chlorate soluble, le manganèse se dépose en partie à l'état d'oxyde sur une électrode et l'aluminium ne subit aucune modification. Voici comment on peut déterminer séparément les cinq premiers métaux : La solution légèrement acide de sulfate ou de chlorure de fer ou autre métal est traitée par une solution contenant 15 % d'acide phosphorique jusqu'à ce que la teinte jaune disparaisse ; on ajoute un grand excès de carbonate d'ammoniaque et l'on chauffe doucement le tout jusqu'à ce que la solution devienne claire. En électrolysant le liquide chaud (70° centigrades) avec un courant pouvant donner à l'heure 1.200 à

1.200 centimètres cubes de gaz hydrogène-oxygène provenant de la décomposition de l'eau, le fer ou tout autre métal est rapidement et complètement précipité. Un courant pouvant produire de 100 à 300 centimètres cubes des mêmes gaz suffit pour amener le dépôt du zinc, tandis qu'un courant de 40 centimètres cubes de gaz est assez énergique pour le cadmium.

« On prépare une bonne solution pour le dépôt par l'électrolyse du zinc et du cadmium en précipitant la solution du sel par le phosphate de soude, dissolvant le précipité par le cyanure de potassium et ajoutant un excès de carbonate d'ammoniaque. Electrolysée à la température de 80° centigrades par un courant capable de donner par heure 4.000 centimètres cubes de gaz hydrogène-oxygène, cette solution abandonne complètement le métal. Le zinc se dépose bien surtout avec des électrodes argentées.

« Pour le cuivre, le sulfure fraîchement précipité est dissous dans le cyanure de potassium, et on ajoute en excès le carbonate d'ammoniaque.

« Le manganèse se dose très bien à l'état d'oxyde sur l'électrode positive, dans une dissolution légèrement acide de nitrate ou de sulfate. On l'obtient aussi en grande partie à l'état métallique en électrolysant avec un fort courant une solution neutre contenant un grand excès de sulfocyanure ammoniacal.

« Pour le bismuth, on ajoute assez d'acide tartrique pour empêcher la précipitation d'un sel basique; on rend la solution alcaline par l'ammoniaque; on ajoute un grand excès d'acide phosphorique et on électrolyse d'abord avec un courant faible (20 ou 30 centimètres cubes de gaz par heure), et ensuite avec un courant de 450 centimètres cubes de gaz.

« L'étain est facilement précipité de ses solutions acides ou alcalines en présence de l'acide phosphorique. » (*Revue industrielle.*)

Désinfection des phlegmes et des alcools de mauvais goût. — Tout récemment (1881) on a appliqué l'électrolyse à la désinfection des phlegmes et des alcools de mauvais goût. MM. Nandin et Schneider opèrent de la façon suivante : ils traitent les phlegmes par l'hydrogène à l'état naissant; à cet effet, ils disposent dans de grandes cuves des plaques de zinc, et ils font arriver dans ces cuves des plaques additionnées de 4 à 5 % de sulfate de cuivre légèrement acidulé : le zinc décompose le sulfate, il se forme du sulfate de zinc, et il se dépose sur les lames de zinc du cuivre à l'état de poudre plus ou moins adhérente. On a constitué ainsi une véritable pile pouvant dégager de l'hydrogène; on introduit alors les phlegmes à désinfecter. Lorsqu'ils ont été ainsi en contact avec de l'hydrogène naissant pendant un certain temps, on les distille et on obtient une proportion d'alcool bon goût supérieure de 25 à 30 % à celle que l'on obtient par le traitement ordinaire.

Le procédé doit être complété lorsqu'on traite des alcools de betterave, de pomme de terre et de topinambour. Les phlegmes, après avoir passé deux jours dans les cuves à hydrogénation, sont acidulés de 1/1000 d'acide sulfurique et envoyés dans une série de voltamètres, qu'ils parcourent successivement de bas en haut au moyen d'une série de conduites. Dans chacun de ces voltamètres ils lèchent deux lames de platine combinées avec les deux pôles d'une MACHINE DYNAMO-ELECTRIQUE à courant continu. A la sortie des voltamètres, le liquide est mis en contact avec du fer ou du zinc pour le désaciduler. Il ne reste plus alors qu'à le distiller.

Cette méthode, appliquée dès l'année 1881 par M. Boutet à son usine de Bapaume, donnait par jour un rendement de 90 hectolitres d'alcool rectifié pour

deux appareils en fonction. Les bons résultats obtenus ont décidé cet industriel à développer le procédé.

Avenir industriel des procédés électrolytiques. — M. Zopetti, dans un rapport dont il est question plus loin, au mot ÉLECTRO-MÉTALLURGIE, s'exprime ainsi sur les applications possibles du procédé électrolytique dans les diverses branches de l'industrie :

« L'introduction du procédé électrolytique pour le traitement des minerais de cuivre marquera une époque de transformation notable dans la métallurgie de ce métal, et ce procédé recevra sans doute des applications dans les autres branches de l'art d'extraire les métaux de leurs minerais. Il pourrait être appliqué pour la production de plusieurs métaux usuels réclamant des quantités notables de combustible pour leur traitement, parmi lesquels le zinc.

« Les procédés électrolytiques ont déjà servi au raffinage des métaux bruts, tels que le plomb, le platine, l'iridium, etc.; on doit s'attendre à un accroissement d'applications dans l'avenir. On a appliqué depuis peu de temps avec succès l'électrolyse pour la production des métaux d'une grande valeur, comme le magnésium et l'aluminium.

« On a encore fait de l'électrolyse de nombreuses applications dans des buts divers. Ainsi, l'électrolyse de l'eau produisant de l'hydrogène à l'état naissant, corps éminemment réducteur, permet la réduction de plusieurs composés d'origine organique, par exemple la cinchonine. On a également appliqué le fait du développement de l'hydrogène et de l'oxygène dans l'électrolyse de l'eau, par exemple pour la préparation des matières colorantes en recourant à des artifices spéciaux, pour maintenir séparés les produits obtenus autour des anodes, et en dissolvant dans l'eau acidulée, pour la rendre bonne conductrice de l'électricité, une ou plusieurs substances aptes à donner des matières colorantes sous l'action de l'oxygène ou de l'hydrogène naissant. Ainsi, avec des sels d'auiline, de toluidine, etc., on pourra obtenir des produits spéciaux, comme le noir et le bleu d'auiline, le violet de Hoffmann, l'alizarine artificielle, etc. On a eu aussi recours au courant électrique pour la rectification des alcools vineux. Enfin on a cherché à obtenir électrolytiquement la production du sulfate de cuivre pur en traitant les solutions de sulfate de cuivre et de fer provenant du traitement par voie humide des minerais de cuivre. »

ÉLECTROLYTE. — Composé chimique qui, à l'état de dissolution ou de fusion (comme, par exemple, du sulfate de cuivre dissous dans l'eau, ou du chlorure de sodium en fusion ligée), peut être décomposé sous l'action d'un COURANT ÉLECTRIQUE.

ÉLECTROLYTIQUE. — Qui a les caractères d'un électrolyte.

ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE. — Qui a rapport à l'électro-magnétisme.

ÉLECTRO-MAGNÉTISME. — Théorie des actions et réactions des COURANTS SUR les AIMANTS et des aimants sur les COURANTS.

Oersted, professeur de physique à Copenhague, fit, en 1819, une découverte qui liait intimement le MAGNÉTISME et l'ÉLECTRICITÉ, et qui fut bientôt, entre les mains d'Ampère et de Faraday, la source d'une branche nouvelle de la physique. Le fait découvert par Oersted est l'action directrice qu'un courant fixe exerce

à distance sur une AIGUILLE AIMANTÉE MOBILE (1). Bientôt après on a reconnu que, réciproquement, un aimant fixe a une action directrice facile à constater sur un courant mobile, et l'on a donné le nom d'électro-magnétisme à la partie de la physique qui traite des actions mutuelles qui s'exercent entre les courants et les aimants.

Pour faire l'expérience d'Oersted, on tend horizontalement, dans la direction du méridien magnétique, un fil de cuivre au-dessus d'une aiguille aimantée mobile, comme le représente la fig. 1. Tant que le fil n'est pas traversé par un courant, l'aiguille lui demeure parallèle; mais aussitôt que les extrémités du fil sont mises en communication avec les ÉLECTRODES d'une PILE, l'aiguille est déviée et tend d'autant plus à prendre une direction perpendiculaire au courant que celui-ci est plus intense.

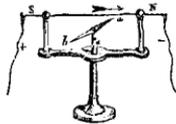


Fig. 1.

Quant au sens dans lequel les pôles sont déviés, il se présente plu-

sieurs cas, qui vont se ramener à un principe unique. Si l'on se rappelle que toutes les fois que l'on parle de la direction d'un courant on le considère comme allant, dans le fil conjonctif, du pôle positif au pôle négatif, l'expérience précédente présente les quatre cas suivants :

1° Si le courant passe au-dessus de l'aiguille et va du sud au nord, le pôle austral est dévié vers l'ouest : c'est cette disposition qui est représentée dans la fig. 1.

2° Si le courant passe au-dessous de l'aiguille, toujours du sud au nord, le pôle austral est dévié à l'est.

3° Lorsque le courant passe au-dessus de l'aiguille dans la direction du nord au sud, le pôle austral se dirige vers l'est.

4° Enfin la déviation a lieu vers l'ouest quand le courant va encore du nord au sud au-dessous de l'aiguille.

Si l'on conçoit, comme l'a fait Ampère, un observateur tourné vers l'aiguille et placé dans le fil conjonctif, de manière que le courant entre par ses pieds, on reconnaît aisément que, dans les quatre positions que l'on vient de considérer, le pôle austral est dévié vers la gauche de cet observateur.

Si, au contraire, le courant était mobile et l'aiguille fixe, ce serait le courant qui tendrait à devenir perpendiculaire à la direction de l'aiguille, le pôle austral occupant toujours la gauche. Pour démontrer ce fait, on prend un courant affectant une forme rectangulaire et dont la base supérieure porte à sa partie médiane deux tiges verticales qui viennent se fixer dans deux cavités métalliques, en communication chacune avec un des pôles d'un fil, comme le montre

(1) Suivant M. D. Tommasi, il ne serait pas encore établi d'une façon définitive et indiscutable qu'Oersted soit le véritable et unique auteur de la découverte de l'électro-magnétisme. Voici, en effet, un extrait de l'Essai théorique et expérimental sur le galvanisme, etc., publié par Jean Aldini, à Paris, en 1804 : « Mojon ayant placé horizontalement des aiguilles à coudre, très fines, et de la longueur de deux pouces, il en a mis les deux extrémités en communication avec les deux pôles d'un appareil à tasses de cent verres; au bout de vingt jours il a retiré les aiguilles un peu oxydées, mais en même temps magnétiques, avec une polarité très sensible. Cette nouvelle propriété du galvanisme a été constatée par d'autres observateurs, et dernièrement par Romanesi, physicien de Tronzo, qui a reconnu que le galvanisme faisait décliner l'aiguille aimantée. »

la fig. 2. Le circuit que parcourt le courant est alors mobile, et au-dessous de sa branche inférieure on approche un fort barreau aimanté; aussitôt le circuit se met à tourner, et s'arrête, après quelques oscillations, dans un plan perpendiculaire à l'aimant, de manière que le pôle austral de celui-ci se trouve à la gauche du courant, dans la partie inférieure du circuit.



Fig. 2.

Ampère a donné une explication de ces actions réciproques des courants et des aimants en assimilant les aimants aux solénoïdes. La théorie mathématique due à ce principe est résumée ci-après :

Théorie mathématique. — 1° Action des courants sur les courants.

Principes fondamentaux :

1° Deux éléments de courant situés suivant une même ligne droite agissent suivant cette ligne, par raison de symétrie.

2° Deux éléments de courant perpendiculaires à la

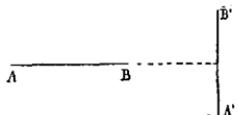


Fig. 3.

ligne qui joint leurs milieux agissent également suivant cette ligne, par raison de symétrie.

3° Il n'y a pas d'action entre deux éléments situés dans le même plan et dont l'un est perpendiculaire sur le milieu de l'autre :

Supposons, en effet, qu'il y eût une force attractive dirigée suivant AB, elle devrait revenir répulsive quand le sens du courant change dans A'B', ce qui ne peut être, puisque ce changement n'apporte aucune variation dans les positions relatives des deux courants (fig. 3).

4° Un élément de courant peut se remplacer par ses projections sur trois axes (fig. 4).

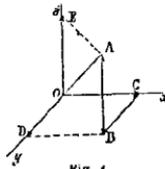


Fig. 4.

On peut, en effet, remplacer OA par le courant OCBA, en vertu du principe des courants sinués; puis on peut remplacer CB et BA par OD et OE, qui sont égaux, parallèles et infiniment voisins.

ACTION D'UN ÉLÉMENT DE COURANT SUR UN AUTRE ÉLÉMENT.

Ces principes admis, cherchons l'action d'un élément de courant $OA = dx$ sur un autre élément $O'A' = dx'$. OA est dans le plan YOx (fig. 5).

Nous pouvons remplacer chaque élément par ses projections. Nous aurons ainsi à considérer l'action de dx et dy sur dx' , dy' et dz' .

L'action de dx sur dx' et dz' est nulle; il attirera dy' si la direction des deux courants est la même.

L'action de dx sur dy' et dz' sera nulle; il attirera

ou repoussera dx' . Nous n'avons qu'à considérer les actions de

$$dy = ds \sin \theta \text{ sur } dy' = ds' \sin \theta' \cos \varphi$$

$$dx = ds \cos \theta \text{ sur } dx' = ds' \cos \theta'$$

Si θ et θ' sont plus petits que 90° , la première sera attractive, la deuxième répulsive. Ampère admettait

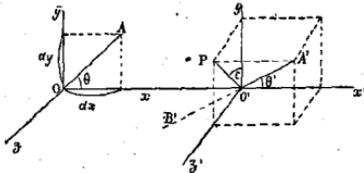


Fig. 5.

que ces deux actions étaient proportionnelles aux intensités des courants, aux longueurs de leurs projections et à deux fonctions inconnues de leurs distances, qui seront $f(r)$ pour la première action, et $\varphi(r)$ pour la deuxième.

On a donc, en désignant par dF la force qui s'exerce entre les deux éléments de courant :

$$dF = II' ds ds' [\sin \theta \sin \theta' \cos \varphi(r) - \cos \theta \cos \theta' \varphi(r)].$$

Ampère supposa de plus que l'on devait avoir :

$$f(r) = \frac{1}{r^n} \text{ et } \varphi(r) = \frac{k}{r^n}$$

Cette hypothèse a d'ailleurs été légitimée par M. De-montferrand.

Nous avons donc :

$$dF = \frac{II' ds ds'}{r^n} [\sin \theta \sin \theta' \cos \varphi - K \cos \theta \cos \theta' \varphi].$$

C'est l'expérience qui déterminera les constantes n et k .

Détermination de la constante n . — On forme un circuit avec un système de deux rectangles de mêmes bases superposés FEAB et ECDH, comme il est représenté fig. 6, mais dont les plans font entre eux un angle quelconque, et on le dispose de façon qu'il puisse osciller librement autour du côté OE, commun aux deux rectangles.

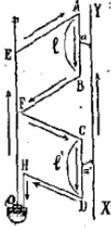


Fig. 6.

On installe un conducteur vertical indéfini XY entre les deux branches AB et CD, et on fait passer un courant dans le conducteur XY et dans l'équipage mobile, de façon qu'il se propage dans le sens des flèches. Les deux branches AB et CD sont toutes deux repoussées par XY.

On constate alors que l'équilibre s'établit lorsque

$$\frac{l}{l'} = \frac{\alpha}{\alpha'}$$

Appliquons le calcul à ce cas particulier.

Soient deux courants parallèles, l'un indéfini XY, l'autre fini X'Y' dont la distance A'B est a (fig. 7).

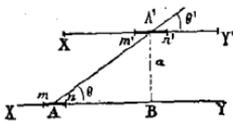


Fig. 7.

Considérons l'action qui s'exerce entre deux éléments mn et $m'n'$. Nous devons faire dans la formule générale $\theta = \theta'$ et $\varphi = 0$,

donc :

$$dF = \frac{II' ds ds'}{r^n} [\sin^2 \theta - K \cos^2 \theta]$$

On a :

$$r = \frac{A'B}{\sin \theta} = \frac{a}{\sin \theta}$$

si nous comptons s à partir de B, il vient :

$$s = AB = a \cot \theta,$$

d'où :

$$ds = -a \frac{d\theta}{\sin^2 \theta}$$

donc :

$$dF = -\frac{II' ds'}{a^{n-1}} \sin^{n-2} \theta [\sin^2 \theta - K \cos^2 \theta] d\theta,$$

dF peut se partager en deux composantes, l'une parallèle à XY, qu'il est inutile de considérer, l'autre $dF \sin \theta$ perpendiculaire aux deux courants, qui déterminera les mouvements.

On a :

$$dF \sin \theta = -\frac{II' ds'}{a^{n-1}} \sin^{n-1} \theta [\sin^2 \theta - K \cos^2 \theta] d\theta.$$

En intégrant, d'abord entre $\theta = 0$ et $\theta = 180^\circ$, puis entre $s' = 0$ et $s' = l$, on trouvera la force totale F qui s'exerce entre XY et X'Y'.

La parenthèse étant indépendante de a , son intégrale sera constante. Représentons-la par $-A$, il vient :

$$F = A II' \frac{l}{a^{n-1}}.$$

Donc, pour que les attractions ou les répulsions de deux courants finis de longueurs l et l' sur un courant parallèle indéfini placé entre eux à des distances a et a' soient égales, il faut que

$$\frac{l}{l'} = \frac{a^{n-1}}{a'^{n-1}}$$

D'un autre côté, l'expérience a donné

$$\frac{l}{l'} = \frac{a}{a'};$$

donc $n = 2$. La formule de la loi élémentaire devient :

$$dF = \frac{II' ds ds'}{r^2} [\sin \theta \sin \theta' \cos \varphi - K \cos \theta \cos \theta' \varphi].$$

Détermination de la constante K . — On a recours à l'étude du cas d'équilibre suivant :

Un axe mobile vertical AB est réuni par une tige isolante CD à un fil de cuivre horizontal dont les deux extrémités affleurent à la surface de deux globules de

mercure (fig. 8). Deux fils de cuivre communiquant avec les pôles d'une pile P plongent aussi dans les globules de mercure. L'élément mn est alors soumis à l'action d'un courant fermé. Quelle que soit la

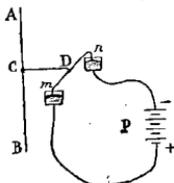


Fig. 8.

forme du circuit, l'élément mn ne se déplace pas. Il faut que la composante tangentielle de toutes les actions exercées sur cet élément par tous les éléments du circuit soit nulle.

Exprimons cette condition au moyen de la formule d'Ampère.

Soient deux éléments de courant ds , ds' (fig. 9), AB

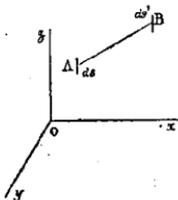


Fig. 9.

la droite qui les joint, x, y, z les coordonnées du point A, x', y', z' celles du point B, et posons $AB = r$.

Les cosinus des angles de l'élément ds avec les axes sont en appelant dx, dy, dz ses projections :

$$\frac{dx}{ds} \quad \frac{dy}{ds} \quad \frac{dz}{ds}$$

Les cosinus des angles de AB avec les mêmes axes sont :

$$\frac{x'-x}{r} \quad \frac{y'-y}{r} \quad \frac{z'-z}{r}$$

Or l'angle de AB avec ds n'est autre que l'angle θ de la formule d'Ampère, donc :

$$\cos \theta = \frac{(x'-x)dx + (y'-y)dy + (z'-z)dz}{rds}$$

On a d'ailleurs :

$$r^2 = (x'-x)^2 + (y'-y)^2 + (z'-z)^2,$$

d'où en différenciant par rapport à x, y, z :

$$\frac{dr}{ds} = \frac{-(x'-x)dx - (y'-y)dy - (z'-z)dz}{rds}$$

d'où :

$$\cos \theta = -\frac{dr}{ds}$$

On aurait de même :

$$\cos \theta' = -\frac{dr'}{ds'}$$

La formule d'Ampère peut donc s'écrire :

$$dF = \frac{II' ds ds'}{r^2} (\sin \theta \sin \theta' \cos \theta' - K \frac{dr dr'}{ds ds'})$$

D'autre part, en désignant par ω l'angle que font entre eux les éléments ds et ds' , il vient :

$$\cos \omega = \frac{dx dx'}{ds ds'} + \frac{dy dy'}{ds ds'} + \frac{dz dz'}{ds ds'}$$

Mais on a en même temps

$$\sin \theta \sin \theta' \cos \theta' - K \cos \theta \cos \theta' = \cos \omega - (K+1) \cos \theta \cos \theta'$$

Dérivons la valeur de r^2 par rapport à s , puis par rapport à s' , il vient :

$$r \frac{dr}{ds} = -(x'-x) \frac{dx}{ds} - (y'-y) \frac{dy}{ds} - (z'-z) \frac{dz}{ds}$$

$$r \frac{dr'}{ds ds'} + \frac{dr dr'}{ds ds'} = -\frac{dx dx'}{ds ds'} - \frac{dy dy'}{ds ds'} - \frac{dz dz'}{ds ds'}$$

Nous avons alors :

$$dF = \frac{II' ds ds'}{r^2} \left[-\frac{r dr'}{ds ds'} - \frac{dr dr'}{ds ds'} + (k+1) \frac{dr dr'}{ds ds'} \right]$$

ou

$$dF = -\frac{II' ds ds'}{r^2} \left(\frac{r dr'}{ds ds'} - k \frac{dr dr'}{ds ds'} \right)$$

Remarquons que l'on a :

$$\begin{aligned} r \frac{dr}{ds} &= r - k \left(\frac{dr'}{ds ds'} \right) - kr - (k+1) \left(\frac{dr dr'}{ds ds'} \right) \\ &= r - (k+1) \left(\frac{r dr'}{ds ds'} - k \frac{dr dr'}{ds ds'} \right) \end{aligned}$$

Si nous substituons dans la dernière expression de dF , il vient :

$$dF = -\frac{II' ds ds'}{r^2} d \left(\frac{r}{ds} \frac{dr'}{ds'} - k + 1 \right)$$

mais

$$\frac{dr}{ds} = \cos \theta$$

$$dF = -II' ds ds' r^{k-1} d \left(\frac{r}{ds} \cos \theta \right)$$

La composante tangentielle de dF étant $dF \cos \theta$, nous avons :

$$F \cos \theta = II' ds ds' r^{k-1} d \left(\frac{r}{ds} \cos \theta \right)$$

$$= II' ds ds' r^{k-1} \left(r - k \cos \theta \right) d \left(\frac{r}{ds} \cos \theta \right)$$

Intégrons par parties, il viendra :

$$\int F \cos \theta = \frac{ds ds' r^{k-1} (r - k \cos \theta)}{2} - \frac{2k-1}{2} \int r - k \cos \theta r^{k-1} dr$$

$$\frac{dr}{ds} ds' = ds \frac{\cos \theta}{r} + \frac{2k-1}{2} \int \cos \theta \frac{d}{ds} \left(\frac{r}{ds} \right)$$

On doit prendre cette intégrale entre deux valeurs de θ , qui sont les mêmes puisque le circuit est fermé.

Le premier terme du deuxième membre disparaîtra donc dans l'intégrale définie, et comme le second doit être nul dans tous les cas possibles, d'après les résultats de l'expérience, on doit avoir :

$$2k-1=0 \text{ ou } k=\frac{1}{2}$$

La formule qui exprime l'action de deux éléments de courant devient alors :

$$dF = \frac{II' ds ds'}{r^2} \left(\cos \omega - \frac{3}{2} \cos \theta \cos \theta' \right)$$

Applications. — A l'aide de cette formule, on peut étudier l'action que deux courants de formes et de positions quelconques exercent l'un sur l'autre.

Proposons-nous, par exemple, d'examiner l'action qu'un courant indéfini XY exerce sur un élément de courant fini AB, situé dans son plan.

Soit O le point de rencontre des deux courants, ω l'angle qu'ils font entre eux (fig. 10).

Supposons d'abord que le courant XY ne soit indé-

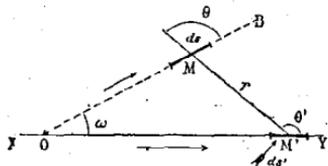


Fig. 10.

fini que dans un sens, celui de la flèche, et examinons l'action d'un élément ds' sur l'élément ds . Soit r la longueur de la droite qui les joint, θ et θ' les angles qu'elle fait avec la direction des éléments. Comptons enfin les longueurs s et s' à partir du point O.

On a évidemment

$$\theta' = \theta + \omega,$$

donc :

$$dF = \frac{II' ds ds'}{r^2} \left[\cos \omega - \frac{3}{2} \cos \theta \cos (\theta + \omega) \right].$$

Le triangle OMM' donne :

$$\begin{aligned} \frac{s'}{s} &= \frac{\sin \theta}{\sin (\theta + \omega)} \quad d'ou \\ ds' &= s \frac{\sin \theta}{\sin (\theta + \omega)} \cos \theta - \sin \theta \cos (\theta + \omega) \quad d\theta \\ &= s \frac{\sin \omega}{\sin^2 (\theta + \omega)} \quad d\theta. \end{aligned}$$

Le même triangle donne :

$$\frac{r}{s} = \frac{\sin \omega}{\sin (\theta + \omega)}$$

d'où $\frac{ds'}{r^2} = \frac{1}{s \sin \omega} \quad d\theta,$

d'où enfin $dF = \frac{II' ds}{s \sin \omega} \left[\cos \omega - \frac{3}{2} \cos \theta \cos (\theta + \omega) \right] d\theta.$

Cherchons les composantes de cette force par rapport à deux axes parallèles l'un à la bissectrice de l'angle ω , l'autre à une perpendiculaire à cette droite.

1^{re} Composante parallèle à la bissectrice :

Elle a pour valeur :

$$dF \cos \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) = dF_1$$

2^o Composante normale à la bissectrice :

Elle a pour valeur :

$$dF_2 = dF \sin \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right).$$

Considérons la 1^{re} composante, et transformons son expression. On a d'abord :

$$\begin{aligned} \cos \theta \cos (\theta + \omega) \cos \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) &= \frac{1}{2} \cos \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) [\cos (\theta + \omega) + \cos \omega] \\ &= \frac{1}{2} \cos \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) \cos \omega + \frac{1}{4} \cos \left(3\theta + \frac{3\omega}{2} \right) + \frac{1}{4} \cos \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right). \end{aligned}$$

Remplaçons dans la valeur de dF , il vient :

$$dF_1 = \frac{II' ds}{s \sin \omega} \left[\cos \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) \left(\frac{1}{4} \cos \omega - \frac{3}{8} \right) - \frac{3}{8} \cos \left(3\theta + \frac{3}{2} \omega \right) \right] d\theta.$$

Intégrons, il viendra :

$$\frac{II' ds}{s \sin \omega} \sin \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) \left[\frac{1}{4} \cos \omega - \frac{3}{8} \right] - \frac{1}{8} \sin \left(3\theta + \frac{3}{2} \omega \right).$$

Cette intégrale doit être prise entre les limites $130^\circ - \omega$ et θ . La différence des deux valeurs correspondantes étant nulle, il en résulte que la composante parallèle à la bissectrice de l'angle ω est aussi nulle. Considérons maintenant la 2^o composante dF_2 . En transformant comme tout à l'heure, on a :

$$\begin{aligned} \cos \theta \cos (\theta + \omega) \sin \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) &= \frac{1}{2} \sin \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) [\cos (\theta + \omega) + \cos \omega] \\ &= \frac{1}{2} \cos \omega \sin \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) + \frac{1}{4} \sin \left(3\theta + \frac{3}{2} \omega \right) - \frac{1}{4} \sin \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right). \end{aligned}$$

La parenthèse s'écrit alors :

$$\sin \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) \left(\frac{1}{4} \cos \omega + \frac{3}{8} \right) - \frac{3}{8} \sin \left(3\theta + \frac{3}{2} \omega \right),$$

donc $dF_2 = \frac{II' ds}{s \sin \omega} \left[\sin \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) \left(\frac{1}{4} \cos \omega + \frac{3}{8} \right) - \frac{3}{8} \sin \left(3\theta + \frac{3}{2} \omega \right) \right] d\theta.$

L'intégrale est :

$$-\cos \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) \left(\frac{1}{4} \cos \omega + \frac{3}{8} \right) - \frac{1}{8} \cos \left(3\theta + \frac{3}{2} \omega \right).$$

En faisant la différence de ses deux valeurs pour les limites θ et $130^\circ - \omega$, on a :

$$x \cos \frac{\omega}{2} \left(\frac{1}{4} \cos \omega + \frac{3}{8} \right) - \frac{1}{4} \cos \frac{3\omega}{2},$$

mais :

$$\cos \frac{3\omega}{2} = \cos \omega \cos \frac{\omega}{2} - \sin \omega \sin \frac{\omega}{2}.$$

En substituant cette valeur, il vient :

$$\frac{1}{4} \cos \omega \cos \frac{\omega}{2} + \frac{1}{4} \sin \omega \sin \frac{\omega}{2} + \frac{3}{4} \cos \frac{\omega}{2} = \cos \frac{\omega}{2}.$$

La force dirigée suivant la perpendiculaire à la bissectrice a donc pour expression :

$$\frac{II' ds}{s \sin \omega} \cos \frac{\omega}{2} = \frac{II' ds}{2s \sin \frac{\omega}{2}}$$

On peut représenter cette force géométriquement; en effet, prolongeons la perpendiculaire à la bissectrice jusqu'à sa rencontre en B avec le courant XY (fig. 11), on a :

$$MB = 2s \sin \frac{\omega}{2}$$

d'où :

$$dF_2 = \frac{ds}{MB}$$

Si on suppose que l'élément de courant ds tourne autour du point O , l'action du courant indéfini XY sur lui sera toujours représentée par $\frac{I' ds}{r^2 \sin \omega}$. Cette action est attractive si les deux courants partent tous

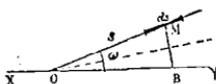


Fig. 11.

deux du sommet de l'angle, et répulsive si l'un se rapproche du sommet O tandis que l'autre s'en éloigne.

Si on prend le courant indéfini dans les deux sens, les deux forces qui agiront sur l'élément M seront dirigées suivant les perpendiculaires aux deux bissectrices. L'une d'elles sera attractive et l'autre répulsive. La 1^{re} sera :

$$\frac{I' ds}{2s \sin \frac{\omega}{2}}$$

la 2^{me} :

$$\frac{I' ds}{2s \cos \frac{\omega}{2}}$$

La résultante R de ces deux forces fait avec la ligne MB un angle α tel que

$$\tan \alpha = \frac{\frac{ds}{2s \sin \frac{\omega}{2}}}{\frac{ds}{2s \cos \frac{\omega}{2}}} = \tan \frac{\omega}{2}$$

L'angle α est donc égal à $\frac{\omega}{2}$ et par conséquent la résultante est perpendiculaire à la direction de l'élément M . Sa valeur est :

$$R = \frac{I' ds}{2s} \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \frac{\omega}{2}} + \frac{1}{\cos^2 \frac{\omega}{2}}} = \frac{ds}{s \sin \omega}$$

Supposons maintenant qu'au lieu d'un élément ds , on ait un courant fini tel que AB (fig. 12). L'action

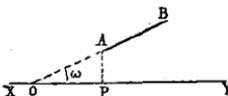


Fig. 12.

totale exercée par le courant indéfini XY sur AB s'obtiendra en intégrant par rapport à s l'expression

$$\frac{ds}{s \sin \omega}$$

entre les valeurs :

$$OA = s \text{ et } OB = s, \\ \int \frac{ds}{s \sin \omega} = \frac{1}{\sin \omega} \log s;$$

donc

$$F = \frac{1}{\sin \omega} \log \frac{s_2}{s_1}$$

Si nous désignons par λ la longueur de la perpendiculaire abaissée du point A sur XY , et par λ' la longueur AB , on a :

$$OA = \frac{\lambda}{\sin \omega} \quad OB = \frac{\lambda}{\sin \omega} + \lambda,$$

d'où

$$F = \frac{1}{\sin \omega} \log \left(\frac{1 + \lambda \sin \omega}{\lambda} \right),$$

ou en développant :

$$F = \frac{\lambda}{\lambda} - \frac{1}{2} \frac{\lambda^2 \sin^2 \omega}{\lambda^2} + \dots$$

Ce résultat a été vérifié par l'expérience.

2^o Solénoïdes. — On appelle *solénoïde* un ensemble de courants parallèles circulaires, infiniment petits et infiniment voisins.

On réalise approximativement ces solénoïdes en enroulant un conducteur isolé en hélice sur un cylindre.

Propriétés des solénoïdes. — Quand un solénoïde mobile est soumis à l'action d'un courant, il tend à se mettre en croix avec le courant. Si nous appelons « pôle austral » l'extrémité qui se porte à gauche du courant, ce pôle sera à la gauche du bonhomme d'Ampère, c'est-à-dire d'un observateur couché le long du courant de telle façon que le courant lui entre par les pieds et lui sorte par la tête.

Un solénoïde se dirige sous l'action de la terre comme un aimant.

Les pôles de mêmes noms se repoussent, les pôles de noms contraires s'attirent.

Deux pôles, l'un d'un aimant, l'autre d'un solénoïde s'attirent et se repoussent comme les pôles de deux aimants.

Action d'un solénoïde sur un élément de courant. — La résultante de toutes les actions de l'élément de courant OA sur les éléments d'un solénoïde que nous supposons limité au point B , mais indéfini dans l'autre sens, se réduit à une force unique représentée en intensité par :

$$d\tau = \frac{\mu \sin \omega}{r^2} ds.$$

Cette force est perpendiculaire au plan AOB , et

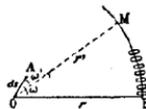


Fig. 13.

dirigée vers la droite du bonhomme d'Ampère, si le point B est un pôle austral.

Si le solénoïde était limité en M (fig. 13), l'action de OA se composerait de deux forces

$$\frac{\mu \sin \omega}{r^2} ds \quad \frac{\mu \sin \omega'}{r'^2} ds'$$

perpendiculaires aux plans AOB et AOM et tendant à faire tourner les deux extrémités du solénoïde dans des sens différents.

Action d'un solénoïde sur un courant rectiligne fini. — Soit un courant fini OM , a la distance de son

extrémité la plus rapprochée du point A et α l'angle des directions AO et OM' (fig. 14).

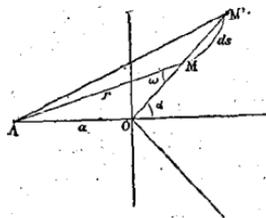


Fig. 14.

Supposons de plus que le point A soit le pôle d'un solénoïde.

L'action de ce pôle sur un élément de courant $MM' = ds$ sera donnée par la formule :

$$d\varphi = \frac{\mu i \sin \omega}{r^2} ds;$$

mais on a :

$$\frac{r}{\sin \alpha} = \frac{r'}{\sin \omega'}$$

d'où :

$$\frac{1}{r} = \frac{\sin \omega}{a \sin \alpha};$$

de plus :

$$\frac{ds}{r} = \frac{\sin MAM'}{\sin(\omega + \omega')} = \frac{d\omega}{\sin \omega}$$

La formule devient donc :

$$d\varphi = \frac{\mu i \sin \omega}{a \sin \alpha} d\omega,$$

dont l'intégrale générale est

$$\frac{\mu i \cos \omega}{a \sin \alpha}$$

Dans le cas actuel, nous devons prendre cette intégrale entre les valeurs 0 et ω , il vient ainsi :

$$\varphi = \frac{2\pi i (1 - \cos \omega)}{a \sin \alpha} = \frac{2\pi i}{a} \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}$$

Si on a :

$$\alpha = \frac{\pi}{2},$$

on a :

$$\varphi = \frac{2\pi i}{a}$$

Rapprochons de ces résultats les suivants, qui ont été obtenus expérimentalement par Biot et Savart, de la manière suivante :

Ils plaçaient en A une aiguille aimantée très courte; si on dérangent l'aimant de sa position d'équilibre, il effectue des oscillations dues à l'action de la terre et du courant. Sous l'action seule de la terre, on a, en désignant par f l'action directrice de la terre, Mk^2 le moment d'inertie du barreau aimanté et n le nombre d'oscillations effectuées pendant le temps T :

$$f = n\pi \frac{Mk^2}{T^2}$$

Soit F la force directrice du courant à la distance a , on aura alors :

$$F + f = \frac{N^2 \mu^2 Mk^2}{T^2}$$

d'où :

$$F = (N^2 \mu^2) \frac{Mk^2}{T^2}$$

A une distance a' on a :

$$F' = (N^2 \mu^2) \frac{Mk^2}{T^2}$$

d'où :

$$\frac{F}{F'} = \frac{N^2 \mu^2}{N^2 \mu^2}$$

On trouva ainsi que F est inversement proportionnel à la distance et proportionnel à $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$.

On constate ainsi qu'un aimant se comporte comme un solénoïde.

Un grand nombre d'autres expériences conduisant à une conclusion analogue, Ampère assimila complètement les aimants à des solénoïdes.

3° Action des courants sur les aimants. — Cherchons l'action exercée par un courant sur un

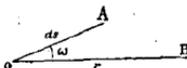


Fig. 15.

aimant. Soit $OA = ds$ un élément de courant, et B le pôle d'un aimant (fig. 15). Entre l'élément de courant ds et le pôle B, il s'exercera une force dont la grandeur est représentée par l'expression

$$\frac{\mu i \sin \omega ds}{r^2}$$

μ est une constante qui dépend de l'aimant, r la distance OB, ω l'angle que fait la direction du courant OA avec la ligne OB. De plus, cette force est perpendiculaire au plan AOB, et si le bonhomme d'Ampère regarde B, elle agit de manière à transporter OA vers la droite, si B est un pôle austral et vers la gauche si B est un pôle boréal.

Cette formule élémentaire appliquée aux aimants n'est que la traduction mathématique de l'hypothèse d'Ampère qui assimilait les aimants aux solénoïdes.

Pour justifier cette hypothèse et en même temps l'exactitude de cette formule élémentaire, nous l'appliquerons à l'étude de certains cas particuliers, et arriverons ainsi à prévoir un certain nombre de phénomènes que l'expérience devra vérifier :

1° Moment de rotation d'un courant autour d'un axe passant par le pôle d'un aimant.

Soit A le pôle d'un aimant, OO l'axe de rotation, ma un élément de courant. Désignons par θ l'angle OAm , par $\omega + d\omega$ l'angle $OA\eta$, enfin par ω et $(\omega + d\omega)$ les angles $Am\eta$ et $A\eta g$ (fig. 16).

L'élément de courant est sollicité par une force dont la grandeur est exprimée par :

$$\frac{\mu i \sin \omega ds}{r^2}$$

Mais le courant est mobile autour de OO; la force qui est perpendiculaire au plan $Am\eta$ se décompose en deux autres forces dont l'une, située dans le plan

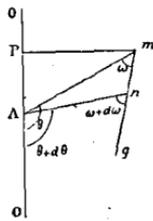


Fig. 16.

OA*m*, n'a aucun effet. L'autre, perpendiculaire à ce même plan, a pour expression :

$$\frac{\mu \sin \omega dt}{r} \cos \alpha$$

où l'on désigne par α l'angle des deux plans *mAn* et OA*m*. Pour avoir le moment de rotation, il faut multiplier par *Pm* ou *r sin v*; on a ainsi :

$$\frac{\mu \sin \omega \cos \alpha \sin v dt}{r}$$

Mais, d'après une formule de trigonométrie sphérique :

$$\begin{aligned} \cos(\theta + d\theta) &= \cos \theta \cos \widehat{mAn} + \sin \theta \sin \widehat{mAn} \cos \alpha \\ \cos(\theta + d\theta) &= \cos \theta - \sin \theta d\alpha \end{aligned}$$

L'angle \widehat{mAn} étant infiniment petit, son cosinus tend vers l'unité, il vient donc :

$$-\sin \theta d\theta = \sin \theta \sin \widehat{mAn} \cos \alpha$$

Dans le triangle *mAn*, on a :

$$\frac{m\alpha}{Am} = \frac{d\alpha}{r} = \frac{\sin mAn}{\sin(\omega + d\omega)}$$

d'où :

$$\sin mAn = \frac{ds \sin \omega}{r}$$

d'où enfin :

$$-d\theta = \frac{\sin \omega \cos \alpha ds}{r}$$

Le moment élémentaire de rotation prend pour expression :

$$dm = -\mu \sin \omega dt$$

Le moment total sera donné par l'intégrale :

$$M = \int_{\theta_1}^{\theta_2} -\mu \sin \omega dt = \mu I (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

Si l'on considère le second pôle de l'aimant, on aura :

$$M' = \mu I (\cos v' - \cos v)$$

comme les deux pôles agissent en sens inverse, l'action totale sera représentée par :

$$\mu I (\cos \theta_1 - \cos \theta_2 - \cos v' + \cos v)$$

Cette action ne dépend que des limites entre lesquelles on est obligé d'intégrer, et non de la forme du courant. Pour un courant fermé, le moment de rotation est nul.

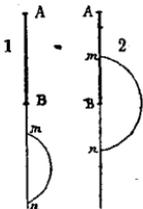


Fig. 17.

3° *Courant mobile autour d'un axe passant par les deux pôles A et B d'un aimant.*

Soient *m* et *n* les points où le courant coupe son axe (fig. 17). Ces deux points pourront être d'un même côté de l'un des pôles, comme dans la position (1) représentée ci-contre, ou de part et d'autre de l'un de ces pôles, comme dans la position (2).

Dans la première position, chacun des quatre angles v, v', θ, θ' est nul, par suite le moment de rotation est nul. Le courant doit rester immobile.

Dans la 2^e position, $\theta_1 = v, \theta_2 = 0$.

$$\theta_1 = 180^\circ, \theta_2 = 0$$

Le moment de rotation est 2 μI .

Par conséquent, le courant devra prendre un mouvement de rotation continu autour de l'axe.

3° *Rotation d'un aimant sous l'influence d'un courant.* — L'action résultante d'un aimant sur un courant se réduit nécessairement à un couple et à une force. Or, nous avons vu que le moment de rotation d'un courant fermé par rapport à un axe passant par les pôles d'un aimant est nul. Cela montre que le couple est dans un plan passant par la ligne des pôles, et que la force passe par un point de cette ligne.

Dès lors, si l'aimant est mobile autour d'un axe parallèle à la ligne de ses pôles, le couple sera encore détruit, mais la résultante de translation conservera tout son effet, et comme cette force change de direction à chaque instant, il devra se produire une rotation.

On trouvera notamment au mot COURANT la description d'une série d'expériences ayant servi à vérifier ces diverses conclusions. L'expérience ayant toujours été d'accord avec la théorie, celle-ci doit être acceptée comme exacte.

ÉLECTRO-MÉDICAL (Appareil). — V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.)

ÉLECTRO-MÉGALOSCOPE. — Instrument destiné à l'examen des cavités du corps humain, telles que la vessie, l'estomac, le rectum, etc. Des tentatives furent faites par Nélaton et par Millot pour arriver à un examen direct de ces organes. M. le Dr Boisseau du Rocher a résolu la question en introduisant dans les cavités à examiner une petite lampe à incandescence de 0^m,04 de diamètre seulement fixée à l'extrémité d'une sonde. La figure ci-contre donne le schéma de cet appareil.

Derrière la lampe L et sur le côté de la sonde est placé un prisme A à réflexion totale. Immédiatement derrière lui sont deux lentilles de court foyer B, B' se regardant par leur convexité. Elles recueillent tous les rayons qui sortent divergents du prisme et les ramènent tous en un point, voisin de leur foyer principal; elles donnent une image microscopique réelle, dans l'espace, de l'objet donné F, F'. Cette image visible à la partie inférieure de l'instrument est examinée au moyen d'une lunette CD, appelée *lunette mégaloscopique*. On comprend qu'avec des lentilles de foyers convenables on puisse grossir l'image réduite de l'objet et par conséquent l'observer avec les dimensions normales de cet objet. Pour la vessie et pour le rectum, les tubes ou sondes sont droits; pour l'estomac, l'instrument est formé d'une double sonde, l'une courbée, logeant un prisme long de 0^m,07, placé entre l'image réduite et la lunette; l'autre droite, rentrant dans celle-ci, et dont les mouvements de descente et de montée et les mouvements de rotation sont commandés par des mécanismes extérieurs.

La lampe à incandescence est actionnée par une pile au bichromate de soude à circulation par pression d'air, décrite à l'article PILES MÉDICALES.

M. le Dr Boudet de Paris, appréciant l'instrument imaginé par M. le Dr Boisseau du Rocher, dit :

« L'éclairage et l'examen des cavités intérieures du corps a été cherché par bien des expérimentateurs depuis nombre d'années. M. le Dr Désormaux avait inventé un appareil, appelé *Endoscope*, destiné à explorer l'intérieur de la vessie; la lumière était fournie par une simple mèche à huile; plus tard, on eut recours à l'éclairage électrique pratiqué au moyen de fils de platine rendus incandescents par un courant. Les premiers appareils de M. Trouvé étaient munis de cette lampe à fil de platine; on fit ensuite de petites lampes à filament de charbon. De cette époque datent les lampes à spéculum du Dr Ranque

et celles destinées à la laryngoscopie de MM. Corneiloup et Cadol, Hélot et Trouvé, etc. Mais il manquait aux instruments employés un système optique complet permettant, d'une part de recueillir tous les rayons lumineux réfléchés par de larges surfaces, et

d'autre part, de transmettre ces rayons à l'œil de l'observateur avec des grossissements variables. C'est ce problème que M. Boisseau du Rocher, secondé par d'habiles constructeurs, est parvenu à résoudre. Son appareil est appelé à rendre les plus grands services. »

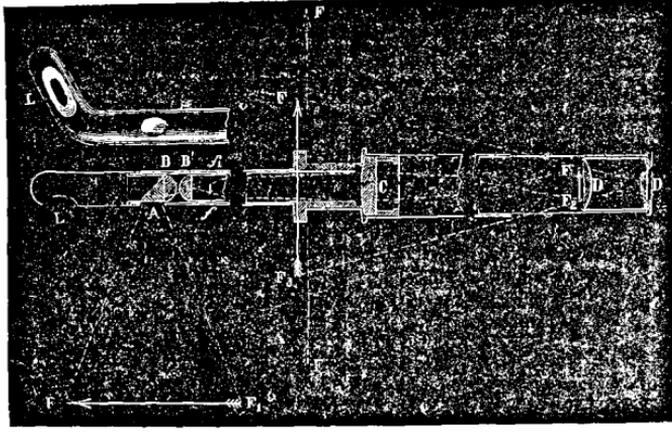


Schéma du Mégaloscope du Dr Boisseau du Rocher.

M. Trouvé a construit, en 1870, un appareil destiné à éclairer les cavités de l'organisme et qu'il a appelé **POLYSCOPE ÉLECTRIQUE**. Ce qui différencie les appareils de M. le Dr Boisseau du Rocher et ceux de M. Trouvé, c'est la disposition du système optique. M. le Dr Boisseau du Rocher est parvenu à rendre possible l'examen d'un champ considérable sans déformations, en grandeur naturelle, et à la loupe.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE. — Raffinage et extraction des métaux au moyen de l'électricité.

Pendant longtemps les applications de l'électricité à la métallurgie étaient restées confinées dans le domaine de la **GALVANOPLASTIE**, dont le but est d'obtenir des dépôts métalliques en couches très minces sur des objets divers, à l'aide du courant électrique. On se servait aussi des procédés électrolytiques pour le traitement des métaux précieux tels que l'or et l'argent; mais, depuis les progrès accomplis dans la construction des machines électriques, les applications véritablement industrielles se sont développées d'une façon remarquable. Nous allons résumer les principales d'entre elles. Aujourd'hui l'électrolyse sert couramment dans plusieurs usines métallurgiques de l'ancien et du nouveau continent, pour le raffinage du cuivre brut produit par les procédés métallurgiques ordinaires et la séparation des métaux précieux (à Marseille, à Biache, à Moabit, à Francfort, à Oker, à Hambourg, à Birmingham, etc.), pour le raffinage et la désargenteration du plomb d'œuvre (procédé Keith, à New-York, Hambourg, Clausthal), pour l'extraction de l'aluminium et du magnésium par des procédés d'invention récente (Graetz et Bréme).

Plusieurs procédés électrolytiques ont aussi été proposés pour le traitement direct des minerais de zinc

(Lambotte-Doucet, Parodi, Luckow, Létrange, etc.), qu'on transforme au préalable en chlorures ou en sulfates. Ces procédés ont tous présenté des inconvénients très sérieux, dus à la nécessité d'employer des courants à haut POTENTIEL pour dissocier les sels complexes et impurs constituant le bain électrolytique, courants qui décomposent l'eau et produisent des effets de polarisation absorbant une quantité notable de travail moteur dépensée ainsi en pure perte. Il arrive même que l'opération est arrêtée presque à son début, et le métal dépuré manque de compacité et d'homogénéité. On a cherché à remédier à ces inconvénients. Deligny a imaginé de remplacer les anodes en charbon, graphite, plomb, etc., par des anodes en sulfures naturels (les sulfures de cuivre et leurs mélanges avec les pyrites de fer sont, en effet, assez bons conducteurs de l'électricité et attaquables par les acides); plus tard, MM. Blas et Miest, en Belgique, imaginèrent un traitement des minerais sulfurés basé sur la conductibilité des sulfures naturels mélangés avec d'autres substances, préalablement broyées, et comprimés à une pression élevée et à une haute température. Mais ces différents essais ne furent pas couronnés de succès. Une étude théorique et pratique approfondie de l'emploi rationnel des sulfures comme anodes, a été faite ensuite par M. E. Marchese, ancien ingénieur au corps royal des mines en Sardaigne.

M. J. Libert a donné dans la *Revue universelle des mines*, en 1886, la traduction d'un mémoire fort intéressant de M. Zopetti, ingénieur au corps royal des mines d'Italie, sur les travaux de M. Marchese et sur les applications pratiques qui en ont été la conséquence.

M. Marchese a d'abord établi qu'il y avait un avantage considérable à électrolyser des sulfures plutôt que

des sulfates ou autres solutions salines. Il emploie des sulfures naturels fondus d'abord par masses, c'est-à-dire des sulfures artificiels plus purs que les naturels.

Voici quelques extraits du rapport de M. Zopetti : « M. Marchese déterminé la force électromotrice nécessaire pour dissocier les divers sulfures et sulfates correspondants, en se basant sur les phénomènes qui se produisent dans la pile Daniell et qui lui permettent d'établir qu'une force électromotrice de 1 volt correspond à 23,113 calories.

Connaisant le nombre de calories nécessaires pour la formation d'un composé chimique, on peut déterminer la force électromotrice minima nécessaire pour effectuer la dissociation de ses éléments, et le travail mécanique exigé, en tenant compte de ce fait qu'une calorie correspond à 424 kilogrammètres et que la quantité de chaleur nécessaire pour dissocier un composé est égale à celle réclamée dans l'acte de la combinaison. En déterminant par le calcul la force électromotrice et le travail mécanique nécessaires pour décomposer les sulfures et les sulfates de plomb, de cuivre, de zinc et d'argent, on constate que la force électromotrice exigée pour la dissociation électrolytique du métal d'un sulfure est beaucoup moindre que celle nécessaire pour la dissociation de la même quantité de métal du sulfate correspondant. On arrive à la même conclusion en comparant les quantités de travail consommées dans ces deux opérations. Enfin, la conclusion est également la même si on agit sur des sels halogénés ou oxydés divers comparés aux sulfures.

Voici d'ailleurs l'indication des forces électromotrices théoriques nécessaires à la dissociation des sulfures et des sulfates de quelques métaux :

	Volt.		Volt.
Sulfate de cuivre	1.28	Sulfure de cuivre	0.220
— plomb	1.96	— plomb	0.385
— prot-			
oxyde de fer	2.03	— de fer	0.514
Sulfate de zinc	2.38	— de zinc	0.930

En examinant le travail de résistance dans les deux cas de l'électrolyse d'un sulfate et de celle d'un sulfure, on reconnaît encore qu'il y a avantage dans le cas de ce dernier, parce que la résistance du circuit extérieur à la source d'électricité est moindre; par suite, pour une bonne marche de l'opération, il convient également de diminuer la résistance de la dynamo. Pour la résistance extérieure, elle est la même dans l'électrolyse des sulfures et dans celle des sulfates pour les conducteurs, l'électrolyte et la cathode; mais l'anode en sulfures est moins résistante que celle constituée par le coke, le graphite, etc.; dans l'électrolyse des sulfures la conductibilité de l'anode est voisine de celle des lames métalliques correspondantes.

À la suite de ces études, la Société anonyme italienne des mines de cuivre et d'électro-metallurgie qui a son siège social à Gènes, a fait dans son usine de Casarza, près de Sestri-Levante, l'application d'un procédé de traitement électrique des minerais de cuivre sur un plan nouveau, et elle a, depuis, fait une installation encore plus grandiose de cette méthode de traitement à Pont-Saint-Martin, dans la vallée d'Aoste. Le procédé de M. Marchese a figuré à l'Exposition de Turin en 1884 et à celle d'Anvers en 1885, et a remporté la plus haute récompense. En voici une description succincte : On a constaté par expérience que dans l'électrolyse d'un sulfate de cuivre avec anode en sulfure de fer, on a l'anode production d'oxygène et d'acide sulfurique, et, par

suite, peroxydation du fer et formation de persulfate de fer; tandis qu'on a à la cathode réduction du persulfate ferrique qui s'est produit à l'anode, et, en conséquence, production de protosulfate, qui évidemment correspond à une consommation de travail, mais qui a la propriété d'empêcher le dégagement de l'hydrogène à la cathode et de permettre un dépôt de cuivre de belle qualité, d'aspect métallique, compact et brillant, ce qui a lieu tant qu'il existe du persulfate à réduire et que la solution contient encore 0,871 de cuivre pour 100 centimètres cubes.

Si dans un bain constitué essentiellement de sulfate de cuivre, pouvant également contenir du sulfate de fer en proportions notables, on emploie comme anode une matle constituée par un mélange très varié de sulfures de cuivre et de fer et une cathode de cuivre, l'électrolyse du bain se fera également avec une différence de potentiel inférieure à 1 volt. Le bain se transforme peu à peu, de façon à contenir du sulfate de fer basique, du protosulfate de fer et de l'acide sulfurique, et le dépôt de cuivre sur la cathode conserve ses qualités de compacité et d'homogénéité tant qu'il existe du persulfate de fer à réduire par l'hydrogène, afin d'éviter le dégagement de ce dernier gaz qui troublerait le dépôt susdit. L'appauvrissement du bain en sulfate de cuivre est combattu par la circulation du liquide.

Les divers éléments du procédé sont les suivants : Le bain électrolytique est formé avec le minerai ou la matle riche. Les anodes sont faites avec les résidus de la préparation du bain ou des mattes et des minerais non encore utilisés, fondus et coulés en plaques pesant environ 110 kilogrammes. Elles sont soumises pendant trois mois environ à l'action du courant électrique. Chaque bain en contient 15 à 20 placés verticalement.

Entre les anodes sont placées les cathodes, constituées par des lames minces de cuivre rouge et encadrées dans des châssis en bois afin d'éviter qu'elles ne viennent au contact des anodes. Le cuivre se dépose lentement; on les enlève quand elles ont atteint une épaisseur de 0^m,005 sur les bords, ce qui réclame moyennement un séjour de trois mois dans les bains. Quand les cathodes sont enlevées, on les lave, les essuie, les plie en trois parties et on les livre au commerce.

Les conducteurs de l'électricité sont des barres de cuivre très doux de 0^m,03 de diamètre.

Les bassins électrolytiques sont en planches doublées à l'intérieur de lames de plomb; ils ont 2 mètres de longueur, 0^m,90 de largeur et 1 mètre de profondeur. On les dispose par groupes de 12, et chaque groupe est actionné par un dynamo, les bassins étant associés en tension et répartis dans chaque groupe en deux séries de six. La lixiviation se fait à l'eau acidulée et à chaud dans des bassins spéciaux en bois, revêtus de lames de plomb et disposés en cascade de telle sorte que l'acide chemine en sens inverse du minerai. Une circulation non interrompue de liquide entre tous les voltamètres et les bassins à sulfate de cuivre est la condition absolue de la bonne marche du procédé.

On doit employer pour produire le courant des machines dynamo-électriques non sujettes à des inversions de polarité, afin d'éviter le dégagement de H₂S, le noirissement du cuivre, etc. On doit, pour cette raison, préférer les machines exécutées par une dynamo spéciale. À la Casarza, on se sert de machines Siemens à dérivation, donnant 210 ampères, avec une différence de potentiel de 15 volts, marchant à la vitesse de 223 tours par minute. La résistance du circuit extérieur est de 0,925 ohm, la résistance

Intérieure de la dynamo est de 0,006 ohm environ ; celle des bornes des électro-aimants de 0,32 ohm. Aujourd'hui la tendance est de préférer la disposition des bains en tension, avec des machines très puissantes à haut potentiel. Les produits secondaires du traitement électrolytique sont : l'acide sulfurique, le sulfate de fer et les métaux précieux. Ces derniers s'accumulent dans les résidus du bain et vont en s'enrichissant de plus en plus, au point qu'on peut extraire l'or et l'argent.

En résumé, et le procédé électrolytique on peut tirer le meilleur parti des minerais les plus complexes, lesquels, par les procédés de la voie sèche donnaient lieu à de longues et coûteuses opérations. Par ce procédé électrolytique on obtient une séparation parfaite du cuivre, du plomb et de l'argent qui se trouvent dans les maties provenant des minerais cupro-plombor-argentifères.

Suivant M. Swinburne de Londres, il est permis d'espérer que dans un avenir peu éloigné l'électrolyse servira à préparer sans danger le carbonate de plomb ou céruse. Cette industrie est actuellement excessivement malsaine pour les ouvriers qui s'y livrent. Pour obtenir électrolytiquement la céruse, on immerge des plaques de plomb dans des solutions de carbonate ou de bicarbonate de soude. En faisant passer des courants faibles, il s'est produit dans plusieurs cas des dépôts blancs, mais toujours peu abondants. Quand on augmente le courant, les plaques se recouvrent rapidement d'un composé brun. Pour imiter l'action de l'acétate basique, on a ajouté un peu d'acide acétique à quelques-unes des solutions. Dans quelques cas on a remarqué que de longues colonnes blanches ressemblant à des bougies partent goutte à goutte du milieu de la plaque et se ramassent au fond du vase.

Les déchets et rognures de fer-blanc et les boîtes de conserves ayant servi contiennent une certaine proportion d'étain qu'il y a intérêt à recueillir. M. Abadie a imaginé un procédé électrique pour séparer ce métal du fer qu'il recouvre. Voici comment l'on opère : on fait un bain de chlorure de sodium légèrement acidulé d'acide chlorhydrique, on plonge dans le bain les rognures de fer-blanc, que l'on met en communication avec le pôle positif d'une machine dynamo-électrique dont le pôle négatif est relié à une plaque mince d'étain pur. L'étain des rognures vient se déposer sur la cathode en cristaux lamelleux ou sous forme plus ou moins grenus, suivant la densité du courant employé. Cette nouvelle méthode n'est pas encore, croyons-nous, utilisée industriellement.

M. William Siemens a imaginé un fourneau électrique pour produire d'une façon économique des alliages d'aluminium en traitant l'alumine. M.M. E. et A. Cowles ont perfectionné cet appareil, qui se compose d'un conduit en briques de 0^m,36 de largeur, 0^m,38 de profondeur et 1^m,56 de longueur, garni à l'intérieur de charbon en poudre, préalablement plongé dans un lait de chaux qui l'empêche de se transformer en graphite sous l'action de la chaleur et le rend par suite isolant. Le fond du fourneau est garni de cette poudre ; dans l'intérieur de celui-ci on introduit deux électrodes en charbon de 0^m,67 de longueur dont les extrémités sont à faible distance l'une de l'autre, et autour desquelles est disposée la charge, composée d'un mélange d'alumine, de charbon concassé et de cuivre granulé. Le tout étant recouvert d'une couche de charbon et d'un couvercle en tôle percé de trous pour le dégagement du gaz, on relie les électrodes à des machines DYNAMO-ELECTRIQUES Brush pouvant fournir un courant de 1.300 AMPÈRES et 50 volts (85 chevaux électriques). Grâce à l'interaction dans ce courant d'une résistance en maillechort plongée dans l'eau, on peut

régler le courant et conduire à volonté la réduction de l'alumine. L'oxygène se combine avec le charbon, l'oxyde de carbone ainsi produit se dégage, le cuivre fondu s'allie à l'aluminium réduit et l'empêche de se combiner avec le carbone. Le cuivre renferme 15 à 30 0/0 d'aluminium et un peu de silice, on le refond avec une nouvelle quantité de cuivre pour amener l'alliage au degré voulu. On espère produire à l'aide de cette méthode de l'aluminium à raison de 5 francs le kilogramme. Actuellement (1886-87) ce métal coûte environ 140 francs le kilogramme en Angleterre.

Nous devons également signaler la méthode par laquelle M. le Dr Kleiner, de Zurich, obtient, paraît-il, dans l'espace de deux ou trois heures seulement, de l'aluminium pur en traitant la cryolithe (fluorure double d'aluminium et de sodium $Al_2F_6 \cdot 6NaF$). Ce minéral est réduit en poudre fine et introduit dans des creusets en plombagine, munis d'électrodes négatives, baguettes de carbone passées à travers le fond, et d'électrodes positives, tiges de carbone fixées à un support et plongeant dans la masse du minéral. Au début, on emploie seulement la quantité de cryolithe pulvérisée et sèche convenable pour remplir le creuset jusqu'à la hauteur de l'extrémité des électrodes négatives ; on abaisse ensuite l'électrode positive centrale jusqu'à ce qu'un ARC VOLTAÏQUE prenne naissance sous l'action d'un courant de 80 à 100 volts et de 60 à 80 ampères, fourni par une machine dynamo. En quelques minutes la chaleur développée amène la fusion du minéral au voisinage de l'arc, et on remplit peu à peu le creuset de manière à produire une masse fluide incandescente au centre du bain. Le courant cesse alors de se manifester sous la forme de l'arc ; la chaleur se propage et on abaisse graduellement les autres électrodes positives jusqu'à ce que la majeure partie du minéral soit soumise à l'action électrique. La force électromotrice est ramené alors à 50 volts, et on maintient, à la température la moins élevée possible, le bain en fusion pendant deux ou trois heures. On laisse refroidir le creuset, dont le contenu est broyé et lavé. Le métal se présente en lingots ; le fluorure de sodium se dissout et le minéral non réduit est repris pour être traité. Avec cette méthode, dont l'invention remonte au mois de juin 1886, la préparation de l'aluminium pur n'exige que du minéral et de la force motrice. Le courant électrique exerce ici surtout une action chimique. Il y a une véritable électrolyse du bain constitué par le minéral amené à l'état de fusion.

Il ressort des différents exemples que nous venons de citer que la machine dynamo-électrique à courant continu est appelée à des applications très importantes dans l'industrie chimique et dans la métallurgie. Le four électrique de Cowles et la méthode Kleiner marquent les premières étapes dans cette voie.

ELECTROMÈTRE. — Appareil destiné à déterminer la nature de l'électricité développée sur un corps électrisé et à mesurer son potentiel.

Le premier appareil auquel on ait donné le nom d'électromètre est ce petit instrument, imaginé par Henley, qu'on voit souvent fixé sur un des conducteurs de la machine électrique de Ramsden. C'est une petite tige d'ébène au sommet de laquelle est fixé un demi-cercle gradué, en ivoire, qui porte à son centre une aiguille en balaie terminée par une balle de sureau. Cette aiguille, sorte de pendule électrique, reste verticale quand l'instrument dont elle doit indiquer la charge est au repos ; mais elle quitte cette position et fait avec le support un angle d'autant plus prononcé que la tension électrique est plus grande.

Électromètre à condensateur de Volta. — L'électromètre à condensateur de Volta ne diffère de l'électroscope à pailles ou à feuilles d'or qu'en ce que la boule qui termine à sa partie supérieure la tige collectrice est remplacée par un plateau recouvert d'une couche légère de gomme laque (fig. 1). Un autre plateau de même diamètre, recouvert aussi de gomme laque,

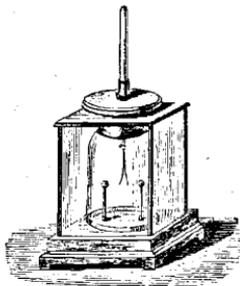


Fig. 1.

forme, avec le premier, lorsqu'on l'y superpose, un condensateur au moyen duquel on peut extraire presque toute l'électricité contenue dans le corps soumis à l'expérience.

Pour cela, on met le corps en contact avec le plateau supérieur, et, en même temps, on touche avec le doigt le plateau inférieur. Le condensateur se charge ainsi, en enlevant au corps presque toute l'électricité qu'il contenait, si du moins sa charge était faible, ce que l'on doit supposer, l'appareil étant précisément destiné à en évidence les très petites quantités d'électricité. On retire alors le doigt qu'on avait porté sous le plateau inférieur, et, en même temps, on écarte le corps. Jusque-là les pailles n'ont fait aucun mouvement, mais le condensateur est chargé, et, si on enlève le plateau supérieur par le manche isolant qui est fixé à son centre, l'électricité dont était chargé le plateau inférieur devient libre, se répand dans les pailles et se manifeste par la divergence de ces appendices. L'électromètre à condensateur n'est, au reste, ordinairement pas muni d'un appareil de mesure.

Électromètre à trois plateaux de Péclet. — M. Péclet a imaginé en 1838, un électromètre dont la sensibilité est de beaucoup supérieure à celle du précédent. Il ne diffère, d'ailleurs, de ce dernier que par la disposition du condensateur, qui est à trois plateaux.

Ces trois plateaux sont de verre dépoli recouvert de feuilles d'or. Le plateau intermédiaire est enduit de couches de gomme laque sur ses deux faces, mais non sur son contour; les deux autres, sur les faces qui viennent en contact avec celles du plateau intermédiaire. Le plateau inférieur fait corps avec l'électromètre. Comme dans l'appareil précédent, le plateau intermédiaire peut être enlevé par son manche isolant, et alors il entraîne avec lui le plateau supérieur; mais ce dernier peut aussi être enlevé séparément par son manche, qui forme gaine autour de celui du second (fig. 2).

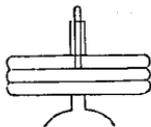


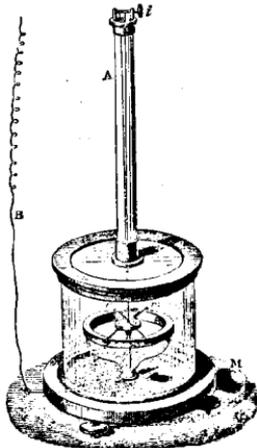
Fig. 2.

Le schéma illustre les trois plateaux horizontaux empilés sur une tige centrale. Le plateau inférieur est fixé à la base, le plateau intermédiaire est au milieu, et le plateau supérieur est au sommet.

Les trois plateaux étant superposés, si l'on touche avec un corps électrisé le plateau supérieur et avec le doigt le contour du plateau intermédiaire, ces deux plateaux se chargent comme dans le condensateur ordinaire, le troisième plateau n'intervenant alors aucunement; mais si on enlève le doigt, le corps influençant et ensuite le plateau supérieur, l'électricité contenue dans le plateau intermédiaire devient d'abord libre, et, si l'on touche alors avec le doigt le plateau inférieur, les deux derniers plateaux forment un nouveau condensateur, et toute trace d'électricité disparaît dans le plateau intermédiaire en même temps que le plateau inférieur s'est chargé d'une certaine quantité d'électricité latente. On replace alors le plateau supérieur et on recommence la même série d'opérations que précédemment. Le plateau inférieur se trouve alors chargé d'une nouvelle quantité d'électricité dissimulée, qu'on peut d'ailleurs accroître encore en recommençant toujours la même série d'opérations jusqu'à ce que l'on juge que toute l'électricité contenue dans le corps soumis à l'expérience a été complètement emmagasinée. On enlève alors les deux plateaux supérieurs en même temps, et les pailles divergent.

Électromètre ou Balance de Coulomb. — Coulomb s'est servi d'un instrument analogue à sa balance de torsion pour démontrer les lois des attractions et des répulsions électriques. Modifiée et appropriée à cet usage, cette balance, qu'il avait employée pour le magnétisme, peut être rangée au nombre des électromètres. Ce n'est plus un fil de cocon, comme dans son électroscope, qui supporte le levier de gomme laque, mais un fil d'argent.

Électromètre météorologique de Palmieri. — Cet appareil n'est autre qu'un perfectionnement de la ba-

Fig. 3.—Électromètre de M. Palmieri. (Ducrotet et C^o.)

alance de Coulomb. L'aiguille mobile *a* est suspendue bifilairement et l'aiguille *m* fixe est en communication, par le base de l'appareil, avec un conducteur *B* mobile dont l'extrémité peut s'élever dans l'atmosphère (fig. 3).

L'emploi de la pèrte, mélange isolant imaginé par M. Palmieri, en outre de la cage de verre qui enveloppe l'appareil, en assure le parfait fonctionnement.

Électromètres de sir W. Thomson.—Aujourd'hui on se sert des électromètres absolus et à quadrants de sir William Thomson.

L'électromètre absolu est fondé sur l'attraction de deux disques électrisés parallèles A et C; un des disques de dimensions connues A est entouré d'un ANNEAU DE GARDE B destiné à répartir uniformément la charge sur le disque, comme s'il n'avait pas de bord. Ce disque est suspendu à des ressorts et à une vis micrométrique F, l'autre disque C est fixé sur une vis semblable H. La vis supérieure est réglée de manière que le disque soit suspendu un peu au-dessus de la plaque de garde lorsque aucune partie de l'appareil n'est électrisée (fig. 4).

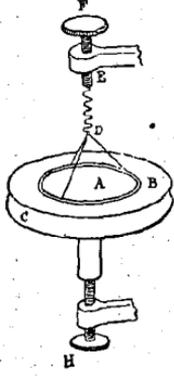


Fig. 4.

Voici les deux méthodes employées pour se servir de l'instrument :

1^o Méthode idéostatique.

— Les deux plateaux sont mis en relation avec les deux corps dont on veut mesurer la différence de potentiel. On déplace le

plateau du bas jusqu'à ce qu'il reprenne sa position primitive, réglée sur un cheveu tendu disposé entre deux repères; à ce moment, il y a équilibre entre l'attraction des deux disques et la force des ressorts. En désignant par V le potentiel d'un des plateaux et par V' celui du second plateau, par D leur distance, par F l'attraction électrique égale à l'effort des ressorts qui l'équilibrent, et par A l'aire moyenne entre la surface du disque suspendu et l'ouverture de l'anneau de garde, la différence de potentiel est donnée par la formule

$$V - V' = D \sqrt{\frac{8 \cdot F}{A}}$$

Cette manière de se servir de l'électromètre absolu constitue une méthode idéostatique, parce qu'on ne fait intervenir aucune charge extérieure; elle exige la connaissance exacte de la distance D des deux disques.

2^o Méthode hétérostatique. — Dans cette méthode, les deux plateaux sont isolés; celui du haut est chargé à un potentiel élevé et constant; on vérifie la constance à l'aide d'un électromètre accessoire on jauge et on entretient cette constance à l'aide d'un REPLENISSEUR ou rechargeur. Le plateau inférieur est alternativement relié à la terre et au corps dont on observe le potentiel. La différence des attractions dans les deux cas donne la différence de potentiel du corps et de la terre, c'est-à-dire le potentiel du corps. La formule devient alors :

$$V - V' = (D - D') \sqrt{\frac{8 \cdot F}{A}}$$

dans laquelle V - V' est la différence de potentiel de la terre et des corps électrisés, D - D' la différence

des lectures de la vis du plateau inférieur, différence qui peut être appréciée avec une exactitude parfaite sans qu'on ait à faire intervenir la distance des plateaux. On obtient ainsi une très grande précision.

L'électromètre à quadrants se compose d'une aiguille en forme de 8 suspendue bifilairement entre quatre quadrants métalliques horizontaux reliés électriquement deux à deux en diagonale; l'aiguille est chargée positivement à l'aide d'une BOUTEILLE DE LEYDE et sa charge est entretenue constante (méthode hétérostatique, jauge et rechargeur). L'une des paires de quadrants est mise à la terre (potentiel égalé zéro par définition), l'autre paire est reliée par un conducteur au corps dont on veut mesurer l'électrisation. La déviation est fonction de la différence des potentiels. Suivant la forme de l'aiguille et les dimensions relatives des quadrants et de l'aiguille, les déviations mesurées en degrés sont proportionnelles aux différences de potentiel jusqu'à 3° en général et jusqu'à 16° lorsque les appareils sont bien construits et placés dans de bonnes conditions. On fait les lectures sur une échelle courbe avec le système de lampe, échelle et miroir. Le modèle le plus parfait porte, outre la jauge et le rechargeur, un système pour faire varier la force directrice et s'assurer que cette force directrice une fois réglée restera constante, et une plaque d'induction destinée à diminuer la sensibilité de l'appareil; pour la mesure des hauts potentiels, c'est cette plaque d'induction qui est reliée au corps électrisé; on ne mesure alors que le potentiel induit par cette plaque, qui est petite et éloignée des quadrants.

Voici la loi de déviation de l'électromètre à quadrants (Clerk-Maxwell) :

$$M = K(A - B) \left[C - \frac{1}{2}(A + B) \right];$$

M, moment du couple qui fait tourner l'aiguille;
A et B, potentiels respectifs des deux paires de quadrants;

C, potentiel de l'aiguille;
K, constante de l'instrument.

Si A et B ont des potentiels égaux et des signes contraires, l'électromètre devient symétrique et la relation se réduit à

$$M = K(A - B)C.$$

Électromètre à quadrants de M. Mascart. — L'électromètre de M. Mascart, représenté fig. 5, n'est qu'une simplification de l'électromètre Thomson. Dans l'intérieur du cylindre vertical qui forme la cage de l'appareil se trouvent les quadrants et l'aiguille mobile; à la partie inférieure de cette aiguille est une petite tige de platine, terminée par une palette de même métal, plongeant dans un bain d'acide sulfurique que l'on aperçoit à travers la lunette de la cage et qui sert d'une part à dessécher l'air de la cage, afin d'empêcher la déperdition de l'électricité, et d'autre part d'amortisseur en s'opposant au mouvement trop brusque de l'aiguille. La palette de platine qui lui est solidaire et qui plonge dans le liquide joue en effet le rôle de frein.

L'électromètre de M. Mascart sert pour étudier l'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

Électromètre capillaire de M. Lippmann. — M. Lippmann a imaginé un électromètre capillaire fondé sur les variations qu'éprouve la dépression capillaire du mercure en présence de l'eau acidulée, sulfurique sous l'influence d'une force électromotrice

L'appareil représenté *fig. 5* se compose d'un tube vertical dont l'extrémité capillaire plonge dans un bain d'eau acidulée par de l'acide sulfurique et contenant au fond du mercure B, et dont l'extrémité supérieure est en communication avec un sac de caoutchouc T, relié lui-même à un manomètre H. Quand on comprime ce sac à l'aide du tourniquet à vis E, on fait monter la colonne de mercure dans le manomètre et on ramène dans le champ du microscope M l'extrémité de la colonne de mercure, qui a été déprimée dans le tube capillaire sous l'action du courant dont on mesure le potentiel. Ce courant est amené à la colonne verticale de mercure par la borne a et au bain de mercure B par la borne s. Cet appareil permet de mesurer un potentiel à un dix-millième de volt près.

Signalons encore la disposition imaginée par M. Dehrien, analogue à la précédente, sauf en ce qui concerne la manière de faire les mesures. Cet électromètre est moins sensible que celui de M. Lippmann.

ÉLECTROMÉTRIE. — Partie de la science électrique qui s'occupe des mesures électriques en général. (V. ÉLECTROMÈTRE, AMPÈREMÈTRE, GALVANOMÈTRE, VOLTMÈTRE, RÉSISTANCE, etc.)

ÉLECTROMÉTRIQUE. — Qui a rapport à l'électrométrie.

ÉLECTROMICROMÈTRE. — Nom donné

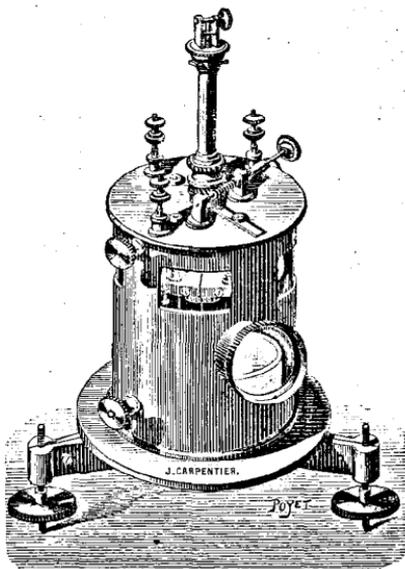


Fig. 5.

Electromètre de Thomson modifié par M. Mascart. (Carpentier.)

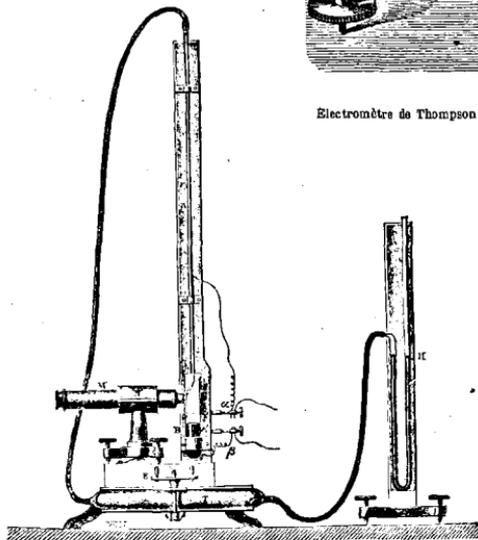


Fig. 6.

Électromètre capillaire de M. Lippmann, modèle horizontal. (Ducreux et Cr.)

quelquefois à un électromètre très sensible tel que celui de Thomson.

ÉLECTROMOTEUR. — Qui développe l'électricité au contact de substances hétérogènes, ou sous l'influence d'une action chimique, comme dans les PILES. — Nom sous lequel on désigne toute MACHINE ÉLECTRIQUE destinée à transformer en travail mécanique l'énergie que possède l'électricité à un certain POTENTIEL, énergie qui devient disponible lorsqu'elle passe de ce potentiel à un potentiel inférieur. Les électromoteurs sont fondés, soit sur les propriétés attractives des ÉLECTRO-AIMANTS, soit sur les actions réciproques des CHAMPS MAGNÉTIQUES sur les COURANTS.

Dans le premier cas, que l'on imagine un électro-aimant en regard duquel se trouve une plaque de fer doux mobile autour d'un axe. Suivant que le courant passe ou est interrompu, la lame est attirée ou repoussée. On produit ainsi autour de l'axe un mouvement

d'oscillation qu'on peut ensuite transformer. Les dispositions spéciales peuvent varier à l'infini, mais au fond c'est toujours l'attraction de l'électro-aimant qui est la source du mouvement. Une fois la machine en train, elle règle elle-même le passage du courant, comme une machine à vapeur règle son tiroir.

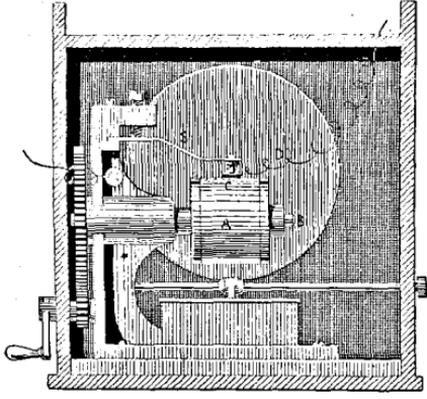
Dans le second cas, figurons-nous l'anneau d'une machine Gramme (V. MACHINES ÉLECTRIQUES) dont les spires sont parcourues par un courant et se trouvent dans un champ magnétique puissant. Les spires de l'anneau étant libres de se mouvoir, puisque ce dernier est mobile autour d'un axe, sont déviées suivant les principes des lois d'Ampère, et l'anneau prend un mouvement de rotation que l'on peut ensuite utiliser.

La notion d'équivalence de l'électricité avec la chaleur, et par suite le travail, permet d'analyser la valeur de ces diverses machines.

La véritable question à étudier aujourd'hui, et qui permettrait, même avec les machines existantes, d'abaisser le prix de revient de l'effet utile, est celle qui

concerne la production économique de l'électricité. Ce n'est que lorsque les recherches des physiciens auront conduit à l'invention de piles moins coûteuses que celles que l'on emploie aujourd'hui que les machines électromotrices pourront être appliquées, dans certains cas déterminés, avec quelque avantage. Et encore ne sera-ce peut-être pas tant à cause du bon marché en quelque sorte intelligente de leur action. Jusque-là il y a peu à s'intéresser à des dispositions de mécanisme que l'on peut varier à l'infini sans utilité réelle.

En attendant que l'on ait trouvé une pile suffisamment économique, les machines Gramme et Siemens et toutes celles qui en dérivent offrent un moyen d'obtenir de l'électricité en quantité assez grande et à assez bon compte pour que l'on puisse se servir des électromoteurs pour certaines applications telles que les TRANSMISSIONS DE FORCE, le TRANSPORT DE LA FORCE à grande distance, la TRACTION ÉLECTRIQUE, etc.



Electromotographe Edison.

ÉLECTROMOTOGRAFHE. — Nom donné à un ingénieux appareil imaginé par Edison. C'est un télégraphe qui a la propriété de renforcer considérablement les sons transmis et de parler à très haute voix.

Il repose sur le principe suivant également découvert par Edison : Si l'on rend un morceau de creie conducteur en l'imprégnant d'une solution saline, si on l'intègre dans un circuit comprenant un crayon que l'on peut promener sur la creie, le coefficient de frottement des surfaces en contact est fonction de l'intensité du courant qui parcourt le circuit.

Il était facile d'en déduire un appareil servomoteur. Voici comment a procédé Edison :

La plaque de l'appareil récepteur est reliée par un fil à un crayon de charbon C, porté par un ressort S et reposant sur un cylindre de craie A que l'on peut faire tourner au moyen d'une petite manivelle. Le courant envoyé par le poste téléphonique transmetteur pénètre dans le cylindre par son axe et sort par le crayon.

On comprend dès lors que les déplacements de la plaque ne dépendent plus seulement des variations

d'intensité du courant, mais aussi de la rapidité de rotation du cylindre, et que, par conséquent ils peuvent être notablement amplifiés.

ÉLECTROMOTRICE (Force). — Elle se mesure en VOLTS. (V. FORCE ÉLECTROMOTRICE.)

ÉLECTRO-MUSCULAIRE. — Se dit des phénomènes particuliers de sensibilité et de contractilité excités dans les muscles par l'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE.

ÉLECTRO-NÉGATIF. — Se dit des corps qui se portent au pôle positif d'une pile, et aussi de l'électricité développée au pôle négatif.

ÉLECTRO-OPTIQUE. — Relations entre l'électricité et la lumière. (V. ROTATION MAGNÉTIQUE DE LA LUMIÈRE.)

ÉLECTROPHONE. — Nom donné par M. Ader au récepteur d'un système téléphonique combiné dans le but d'accroître l'intensité des sons dans le téléphone. Dans cet appareil, analogue à celui de M. Rigbi, l'ac-

tion électro-magnétique est produite par plusieurs ÉLECTRO-AIMANTS. Il comporte l'emploi d'un transmetteur à charbon très simple. L'appareil permet de faire fonctionner des téléphones sans diaphragmes. L'électrophore se compose d'un tambour de 0^m,15 de diamètre environ sur lequel est tendue, d'un côté seulement, une feuille de papier parcheminée au centre de laquelle sont fixées suivant une circonférence de 0^m,06 de diamètre, six petites armatures de fer-blanc de 0^m,01 de longueur et de 0^m,002 de largeur. En face de ces armatures sont fixés, par l'intermédiaire d'une circonférence de bois qui les soutient, six électroaimants microscopiques, dont la distance aux armatures peut être réglée au moyen de vis, qui sont reliés les uns aux autres et qui agissent simultanément sous l'influence seule du courant de la pile. Les sons, reproduits par l'électrophore récepteur, se font entendre à 5 ou 6 mètres. Les chants se perçoivent plus fortement qu'avec le CONDENSATEUR CHANTANT. Malheureusement, l'appareil est d'un réglage difficile et, comme il est impressionné par les variations de l'humidité de l'air et de la chaleur, la parole n'est pas toujours bien distincte. M. Maiche a donné aussi le nom d'*électrophore* à son MICROPHONE à crayons de charbon.

ÉLECTROPHORE. — Instrument inventé par Volta et à l'aide duquel on obtient d'une façon commode l'électricité nécessaire à la plupart des expériences de

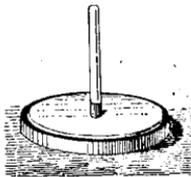


Fig. 1. (Vue perspective.)

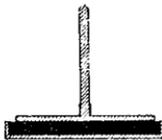


Fig. 2. (Coupe.)

laboratoire. Il se compose d'un gâteau de résine coulé dans une forme cylindrique qui sert à le protéger. Sur la surface supérieure du gâteau qui est à découvert, on pose un plateau métallique, ou, ce qui revient au même, un plateau de bois recouvert d'une feuille d'étain. Un manche de verre s'élève du centre du disque et sert à le soulever sans établir de communication avec le sol (fig. 1 et 2). Pour charger l'instrument, on enlève le plateau métallique et l'on frotte la résine avec une peau de chat; elle se charge d'électricité négative. On pose alors sur la résine le plateau métallique, le fluide positif attiré vient à la partie inférieure, le fluide négatif repoussé s'en va sur la face supérieure. Si donc avant de soulever le plateau on le met en communication avec le sol, le fluide négatif

repoussé disparaît et le fluide positif attiré augmente en quantité. On rompt la communication et le plateau reste chargé d'électricité positive. On peut alors le soulever et on emporte avec lui le fluide positif libre. Le doigt approché du plateau fait jaillir une ÉTINCELLE brillante quand l'électrophore est chargé au maximum.

M. le docteur Adolphe Bloch, s'appuyant sur ce que le frottement direct d'un métal sur le verre est des plus favorables au développement de l'électricité, a imaginé un électrophore composé d'un disque de verre de 0^m,004 d'épaisseur et d'un plateau de cuivre de 0^m,001 d'épaisseur, muni, comme à l'ordinaire, d'un manche isolant. La circonférence de ce dernier plateau est recourbée vers la face supérieure, de manière à former un bourrelet arrondi. Le diamètre du disque de verre doit être plus grand que celui du plateau métallique. Pour faire fonctionner l'appareil, on saisit le plateau métallique par la partie inférieure du manche aussi bas que possible, les autres doigts étant appliqués sur la surface du métal. On le pose sur le disque de verre, et, pour effectuer le frottement, on le fait glisser deux ou trois fois sur le verre en se servant des doigts de la main droite, qui sont restés dans la même position, et que l'on appuie fortement sur le métal de manière à exercer une certaine pression des deux plateaux l'un contre l'autre. Quant au disque de verre, on le tient près du bord au moyen de deux doigts de la main gauche, afin de l'empêcher de se déplacer pendant le frottement. On soulève ensuite le plateau métallique par son manche pour en tirer une étincelle, comme on le fait avec les autres électrophores. Il n'est pas nécessaire, si l'on veut charger de nouveau le plateau métallique, de recommencer chaque fois le frottement; le contact suffit: on remet le plateau sur le verre et on applique l'extrémité d'un doigt sur le métal; puis, comme précédemment, on le soulève pour obtenir une nouvelle étincelle. Dans cet appareil, le plateau de cuivre sert à la fois de frotteur et de corps influencé; la peau de chat est inutile. L'électrophore du Dr Bloch fonctionne par les temps les plus humides et ne présente pas les inconvénients des électrophores en résine ou en ébonite; en effet, la résine se déforme et se fendille au bout d'un certain temps, et le caoutchouc durci perd ses propriétés électriques lorsque sa couche superficielle s'altère.

ÉLECTRO-PHYSIOLOGIE. — Phénomènes particuliers de sensibilité et de contractilité excités et constatés par l'électricité dynamique.

ÉLECTRO-PHYSIOLOGIQUE. — Qui a rapport aux phénomènes électriques produits sur les corps vivants.

ÉLECTRO-POLAIRE. — Se dit d'un conducteur qui possède un pôle positif et un pôle négatif.

ÉLECTRO-POSITIF. — Se dit des corps qui se portent au pôle négatif d'une pile, et aussi de l'électricité développée au pôle positif.

ÉLECTRO-PUNCTURE. — Application de l'électricité à la thérapeutique au moyen d'aiguilles que l'on enfonce dans les tissus.

L'électro-puncture est une opération destinée à faire passer un courant électrique dans un organe. Elle se pratique à l'aide d'aiguilles défilées, d'une longueur de 0^m,04 à 0^m,08, fixées à un manche taillé à pans.

On introduit une de ces aiguilles dans la partie supérieure de l'organe, et une autre dans la partie inférieure. Ces deux aiguilles communiquent avec les pôles d'une pile voltaïque; une pile à auges est gé-

ralement employée. On obtient de cette manière un courant continu. Mais, si l'on veut avoir un courant intermittent, on place dans les tissus une seule aiguille, que l'on met en communication avec l'un des pôles. Une tige de métal mobile, communiquant avec le pôle opposé, sera saisie à l'aide d'un corps isolant, et l'on touchera, de temps en temps, une place ou moins éloignée de l'aiguille placée dans l'épaisseur des tissus. Par exemple, s'il s'agit de soigner une paralysie des membres abdominaux, on placera une aiguille sur la direction de la moelle épinière, et avec un corps bon conducteur on touchera les téguments de la cuisse et de la jambe. A chaque contact, le courant s'établit de la moelle vers les muscles et peut favoriser le retour de l'action contractile.

Cette action ne détermine ni accident ni douleur; quand l'aiguille est retirée, la plaie, à peine apparente, guérit toute seule et sans pansement.

ÉLECTRO-PSEUDOLYSE. — Nom sous lequel M. D. Tommasi propose de désigner la séparation opérée par le courant des seuls produits résultant de la dissociation de l'électrolyte.

Voici comment il justifie la création de ce néologisme :

« Le désaccord qu'on a constaté entre la force électromotrice nécessaire pour produire l'électrolyse et celle qui amène déjà une séparation des éléments de l'électrolyte provient probablement de ce que, dans ce dernier cas, les éléments de l'électrolyte se trouvent en partie dissociés.

« Or, si l'on admet, à titre d'hypothèse, que l'eau renferme toujours, quelle que soit d'ailleurs la température à laquelle on opère, des traces d'hydrogène et d'oxygène non combinés, mais dont les molécules se trouvent cependant assez rapprochées pour exercer entre elles une certaine attraction qui les empêche de se dégager, il sera facile alors de s'expliquer pourquoi l'on a pu constater indirectement, par la polarisation des électrodes, la décomposition de ce liquide avec une force électromotrice de beaucoup inférieure à celle exigée par la théorie. Mais, dans ce cas, est-ce une véritable décomposition que l'eau a opérée? Évidemment non, puisque le courant électrique n'a fait autre chose que séparer seulement la petite portion des éléments de l'eau qui se trouvaient dissociés dans ce liquide, et par conséquent le travail opéré par le courant ne peut être en aucune manière assimilé au travail qu'il eût été nécessaire de produire si réellement on eût décomposé l'eau. Il ressort de là que, dans la décomposition de l'eau par le courant électrique, il y a lieu de distinguer deux phases: dans la première, ce seraient les éléments dissociés qui se porteraient vers les deux électrodes, et dans la deuxième phase, ce seraient les produits de la décomposition de l'eau qui se dégageraient. Or, si la force électromotrice du courant, exprimée en calories, est plus faible que la chaleur de décomposition de l'eau, il n'y aura pas d'électrolyse véritable, mais seulement séparation des éléments dissociés; si, au contraire, la force électromotrice du courant est supérieure à 69 calories, la décomposition de l'eau aura lieu. Afin d'éviter dorénavant toute confusion à cet égard, je proposerais de conserver l'expression « électrolyse » à toute décomposition chimique effectuée par l'électricité et de désigner par *électro-pseudolyse* la séparation opérée, par le courant, des seuls produits résultant de la dissociation de l'électrolyte. Ce qui vient d'être dit à propos de l'eau s'applique également bien à la décomposition des solutions salines, acides ou alcalines par le courant électrique.

« Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, avec une solu-

tion diluée de chlorure d'ammonium on peut, à l'aide d'un courant dont la force électromotrice exprimée en calories est inférieure à la chaleur de décomposition de ce sel, constater un transport sensible d'ammoniaque au pôle négatif et d'acide chlorhydrique à l'autre pôle.

« Mais, dans ce cas, comme il est aisé de le voir, ce n'est pas une véritable électrolyse que l'on a effectuée, mais bien une *électro-pseudolyse*, puisque le courant n'a séparé que les seuls produits de la dissociation du chlorure d'ammonium dissous. Pour qu'il eût eu une véritable électrolyse, il aurait fallu employer un courant dont la force électromotrice exprimée en calories fût supérieure à la chaleur de décomposition du chlorure d'ammonium. »

ÉLECTROSCOPE. — Instrument propre à dénoter la présence et à déterminer l'espèce d'électricité dont un corps est chargé.

Le plus simple des électroscopes est le PENDULE

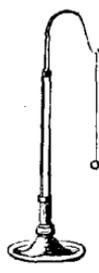


Fig. 1.

Pendule électrique.

ÉLECTROSCOPE qui consiste en une petite balle de sureau suspendue à l'extrémité d'un fil vertical de soie (fig. 1). Pour reconnaître si un corps est électrisé, il suffit de l'approcher de la balle de sureau, qui, dans l'hypothèse de l'affirmative, est d'abord attirée, puis repoussée après le contact. Cette expérience ne fait d'ailleurs pas connaître la nature de l'électricité dont était chargé le corps employé. Une aiguille métallique, terminée à ses deux extrémités par de petites boules et reposant par son milieu sur un pivot isolant, forme aussi un électroscope très simple. Un corps électrisé, que l'on approche de l'une des boules, sur l'un des côtés de l'aiguille, imprime aussitôt à cette aiguille un mouvement de rotation dans le sens de la boule directement influencée au corps influençant.

Électroscope à pailles ou à feuilles d'or. — L'électroscope à pailles ou à feuilles d'or permet non

seulement de reconnaître la présence de l'électricité dans un corps, mais aussi d'en déterminer la nature vitrée ou résineuse. Il se compose d'une petite cloche de verre renversée, enduite extérieurement, à sa partie supérieure, d'une mince couche de gomme laque, pour éviter la déperdition de l'électricité, et traversée à son sommet par une tige métallique verticale, terminée en haut par une boule de cuivre, et en bas par deux lames portant de petits trous dans lesquels passent les fils destinés à supporter les deux pailles ou feuilles d'or, qui pendent librement, à une petite distance l'une de l'autre, dans l'intérieur de la cloche. Le tout repose sur un support de bois portant deux ou quatre tiges verticales métalliques terminées par des boules également métalliques disposées de manière à comprendre entre elles les extrémités inférieures des deux pailles ou feuilles d'or (fig. 2).



Fig. 2.

Électroscope à pailles ou feuilles d'or.

Lorsqu'on approche un corps électrisé de la boule qui termine en haut l'appareil, elle s'électrise par influence et les pailles se chargent de l'électricité de nom contraire à celle que contenait le corps. Ces deux pailles, chargées de la même électricité, se repoussent, et leur écart, plus ou moins grand, que tend d'ailleurs à augmenter la présence des tiges verticales dressées dans l'intérieur de la cloche, accuse la présence, en plus ou moins grande quantité, de l'électricité dans le corps soumis à l'expérience. Si l'on met directement en contact le corps essayé avec la boule de l'électroscope, l'effet augmente; mais alors les pailles se chargent de l'électricité que possédait le corps.

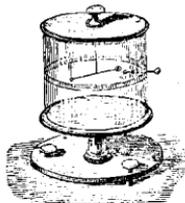


Fig. 3.
Électroscope de Coulomb.

La divergence des pailles persiste d'ailleurs plus ou moins longtemps après que l'on a éloigné le corps influençant, selon le degré de sécheresse de l'air. Les pailles restent ainsi chargées de l'électricité que possédait le premier corps essayé, on pourra maintenant reconnaître la nature de celle que contiendra un nouveau corps quelconque en l'approchant de la boule de l'électroscope. Suivant que les pailles se rapprocheront ou divergeront davantage, l'électricité contenue dans le second corps sera de nature pareille ou contraire à celle de l'électricité contenue dans le premier.

Électroscope de Coulomb. — Il se compose d'une légère aiguille de gomme laque, terminée à l'une de ses extrémités par un petit disque de cinquante, et suspendue horizontalement par un fil de coton, au centre d'une cage cylindrique de verre, sur le pourtour de laquelle a été collée une bande de papier portant les 360 divisions de la circonférence. Une tige métallique, terminée par une boule placée à la hauteur du disque de cinquante, est fixée au support de la cage, et peut être mise, de l'extérieur, en contact avec le corps à essayer. Si ce corps est électrisé, la boule attire le disque jusqu'au contact, puis le repousse (fig. 3).

Électroscope météorologique de Saussure. — Cet appareil, destiné à détecter la présence de l'électricité dans l'air ou dans les nues, et à en faire connaître la nature, se compose d'une sorte de petit PARATONNERRE en communication avec la garniture qui porte les pailles (fig. 4). Lorsque l'instrument est influencé par un nuage



Fig. 4.
Électroscope de Saussure.

chargé d'électricité, le fluide neutre de la tige et de la garniture est décomposé, l'électricité contraire à celle dont est chargé le nuage s'écoule par la pointe, et les pailles restent chargées de l'électricité de même nature. Un arc de papier portant des divisions, collé sur l'une des faces de la cage rectangulaire de verre qui abrite les pailles, permet d'en mesurer l'écartement.

Électroscope météorologique de Peltier. — Il se compose d'une aiguille fixe EF, isolée, que l'on dirige dans le plan du méridien magnétique, en mouvant l'appareil sur ses supports; d'un fil recourbé *ab* reposant sur une chape et relié à une aiguille aimantée

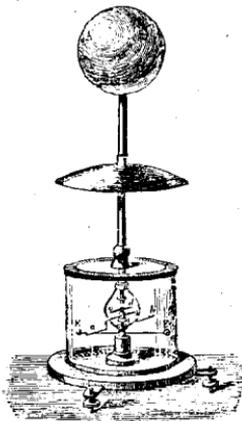


Fig. 5. — Électroscope de Peltier.

tée *cd* qu'il entraîne avec lui dans ses mouvements; enfin d'une tige verticale terminée à sa partie supérieure par une boule que l'on mettra en contact avec le corps à essayer, et portant, dans sa partie moyenne, un chapeau destiné à préserver l'appareil des accidents atmosphériques lorsqu'on aura à faire des expériences à l'air libre (fig. 5).

La tige métallique verticale communique avec EF par l'intermédiaire de l'anneau qu'on voit sur la figure. Quant au système du fil *ab* et de l'aiguille *cd*, qui communique aussi avec la tige par l'intermédiaire de la chape, il peut être soulevé ou abaissé de manière à devenir fixe ou mobile.

Pour faire une expérience, on rend l'aiguille *cd* mobile; elle se dirige alors parallèlement à la barre EF, que l'on a préalablement dirigée dans le plan du méridien magnétique, et le fil *ab* vient presque en coïncidence avec EF. Si alors on électrise la boule supérieure, EF et *ab* prennent l'électricité communiquée à la tige verticale et se repoussent; mais leur écart est limité par l'influence contraire de l'aiguille *cd*, qui tend à revenir dans le plan du méridien. L'angle d'écart peut être regardé, quand il est assez petit, comme donnant la mesure de la force répulsive développée dans les deux fils *ab* et EF, ou, ce qui revient au même, de la quantité d'électricité répandue dans l'instrument.

Électroscope de Bohnenberger. — Il se compose essentiellement d'une fine sèche de Zamboni, dont les deux pôles (+ et -) sont reliés à deux masses métalliques très voisines l'une de l'autre (fig. 6),

et entre lesquelles est suspendue librement une feuille d'or battu; cette feuille est mise en communication avec un plateau métallique placé en dehors de la cage de verre qui abrite l'appareil. Cet électroscope est

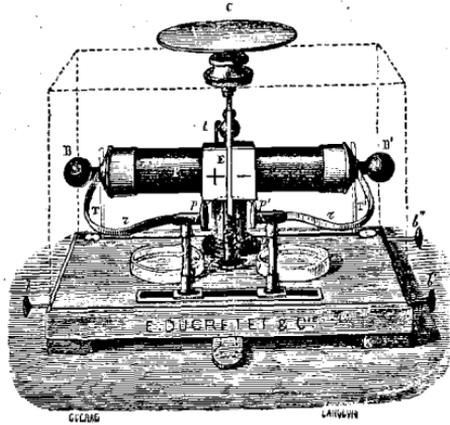


Fig. 6. — Électroscope de Bohnenberger. (Ducretet et Co.)

très sensible et permet non seulement de déceler de très faibles potentiels, mais encore de déterminer leur nature. Ce n'est pas un instrument de mesure proprement dit, comme pourrait le faire croire le nom d'« électromètre » sous lequel on le désigne quelquefois à tort.

Électroscope à aiguille de M. le Dr A. Bloch.

— Il se compose d'une aiguille légère d'aluminium de 0^m.08 de longueur environ, en forme de losange, fixée sur la pointe d'une tige métallique isolée dans une plaque d'ébonite. L'aiguille se charge par influence ou par contact, et elle reste électrisée pendant longtemps, bien qu'elle soit taillée en pointe, attendu qu'elle est complètement isolée par le socle d'ébonite. On la décharge en touchant une rondelle de cuivre appliquée à la base de la tige métallique sur l'ébonite. Cet électroscope est des plus sensibles; la moindre trace d'électricité fait dévier l'aiguille. Une fois chargé, l'appareil permet de reconnaître facilement le signe de l'électrisation d'un corps chargé dont on l'approche; il est repoussé par une charge de même signe et attiré par une charge de signe contraire. L'expérience se fait plus rapidement qu'avec l'électroscope à feuilles d'or. En outre, l'instrument que nous venons de décrire présente, sur celui à feuilles d'or, l'avantage d'une moindre fragilité et d'un emploi plus facile dans certaines circonstances, par exemple lorsqu'il s'agit d'étudier l'électricité des *NOUVELLES DE LEYDE* à armatures mobiles. Il forme le complément nécessaire de l'*ÉLECTROTONUS* du Dr Bloch.

ÉLECTROSCOPIE. — Art de déterminer l'espèce d'électricité dont un corps est chargé.

ÉLECTRO-SÉMAPHORE. — Appareil électrique employé sur les lignes de chemins de fer pour donner des indications aux agents des trains, et placés en

différents points de la voie de façon à constituer une série de sections dont ils autorisent ou défendent l'entrée. (L'ensemble de ces signaux constitue ce que l'on appelle le *BLOCK-SYSTEM*.)

On désigne aussi sous ce nom des appareils établis sur le littoral à l'aide desquels on correspond avec les navires.

ÉLECTRO-SÉMAPHORIQUE. — Se dit d'un système de signaux produits à l'aide de l'électricité, et ayant pour but de donner aux navires en mer le moyen de communiquer avec le continent.

ÉLECTRO-STATIQUE. — Qui a rapport à l'électricité statique.

ÉLECTRO-SUBSTRACTEUR. — Instrument proposé pour empêcher la formation de la onéle.

ÉLECTRO-TÉLÉGRAPHIQUE. — Qui a rapport à la télégraphie électrique.

ÉLECTRO-THÉRAPEUTIQUE. — Qui a rapport à l'électricité employée comme moyen thérapeutique. On dit aussi *ÉLECTROTHERAPIQUE*.

ÉLECTROTHERMIE. — (V. *THÉRAPEUTIQUE*.)

ÉLECTROTHERAPIE. — Application de l'électricité au traitement des maladies. (V. *THÉRAPEUTIQUE*.)

ÉLECTROTONIQUE (État) ou ÉLECTROTONUS. — C'est à Du Bois Reymond que l'on doit la découverte de la propriété que possède le nerf de devenir plus irritable, d'avoir son excitabilité modifiée par le passage d'un courant. Il désigna sous le nom d'état électrotonique l'état dans lequel se trouve le nerf électrisé. Il détacha un nerf aussi long que possible sur un animal quelconque, il posa ce nerf en contact avec

deux coussins de papier buvard qui plongeaient par une de leurs extrémités dans deux verres contenant les électrodes d'un GALVANOMÈTRE sensible. On sait ce qui doit arriver suivant qu'on touche avec les extrémités du galvanomètre la section transversale et la surface du nerf ou bien deux points de la surface à une certaine distance l'un de l'autre : dans le premier cas le courant nerveux circule et fait dévier l'aiguille du galvanomètre, dans le second cas il n'y a pas de courant. L'aiguille étant fixée, il fit passer un courant électrique dans la portion du nerf qui restait libre à droite ou à gauche du circuit du galvanomètre; il obtint alors une déviation très forte qui indiquait un courant persistant pendant tout le temps que le courant excitant continuait à agir sur le nerf; par conséquent s'il y avait auparavant un courant nerveux circulant dans le galvanomètre, on devait voir l'aiguille dévier davantage ou se rapprocher du zéro et même passer de l'autre côté suivant le sens et l'énergie du courant excitant : en effet le courant développé dans le nerf marche dans un cas dans le même sens et dans l'autre cas en sens contraire du courant dû au pouvoir électromoteur du nerf. D'autres expériences montrèrent qu'en prolongeant l'action d'un courant excitant un peu énergique le courant d'électrotonus diminuait peu à peu d'intensité, changeait de sens et que ce phénomène se produisait plus rapidement du côté de l'électrode positive que de l'autre. Plus tard, Edouard Pfleger reprit ces expériences et en les coordonnant créa la théorie de l'électrotonus. Voici la partie principale de la théorie de l'électrotonus :

En parcourant un nerf dans une certaine longueur, un courant constant crée dans cette longueur deux zones dont les états physiologiques sont très différents : la partie du nerf qui est dans le voisinage du pôle négatif devient plus irritable, celle qui avoisine le pôle positif devient, au contraire, moins irritable.

Pfleger appelle la première zone *katelectrotonique* et la seconde zone *anælectrotonique*; entre les deux zones existe une région neutre.

A mesure que l'action du courant se prolonge la zone anælectrotonique augmente d'étendue.

ÉLECTRO-TRIEUSE. — Machine au moyen de laquelle on fait séparer par des AIMANTS le minerai de fer des substances étrangères auxquelles il est mêlé.

Aux mines de Friedrichsseen, en Allemagne, on emploie l'électricité pour séparer des minerais de fer et de blende qu'il est difficile de séparer par les procédés ordinaires parce qu'ils ont à peu près la même densité. Les minerais sont d'abord grillés dans le but de transformer le fer en oxyde magnétique, puis on les casse en morceaux de 0^m 005 et on les envoie dans le séparateur magnétique, qui se compose d'électro-aimants fixes, disposés suivant les rayons d'un cercle dans l'intérieur d'un cylindre en laiton mobile autour des électros, et aimanté par ceux-ci. C'est sur ce cylindre magnétique qu'on fait arriver les minerais à séparer. Les minerais de fer se trouvent attirés par le cylindre, s'attachent à sa surface et sont entraînés avec lui dans le mouvement de rotation, tandis que la blende tombe directement dans des récipients où elle est recueillie. En répétant cette opération deux fois on arrive à séparer complètement les deux minerais. Les électro-aimants sont excités par le courant de machines DYNAMOS.

ÉLECTROTYPÉ. — Coquille de cuivre formée par dépôt électro-métallique et reproduisant une composition ou une gravure typographique. M. Boquillon a donné improprement ce nom d'électrotypé à un appareil GALVANOPLASTIQUE.

ÉLECTROTYPÉ. — Art de reproduire en planches de cuivre des compositions de caractères d'imprimerie ou des gravures en relief.

L'art de l'électrotypie ne diffère de la GALVANOPLASTIE que par le moulage; il emprunte à celle-ci tous ses moyens de produire et de déposer le cuivre sur le moule, sauf à prendre les soins et à modifier les détails que réclame cette application spéciale.

M. Paulin, éditeur, suggéra, en 1850, à M. Michel, inventeur des clichés bismineux, cette application de la galvanoplastie, entreprise par Jacobi, et dont M. Michel a fait une industrie importante par ses découvertes successives du moulage à la gutta-percha et de l'imperméabilisation des moules de papier. Le moulage à la cire est également pratique.

On comprend l'importance d'un moulage fidèle quand il s'agit de reproduire les traits les plus fins de la gravure, et c'est pourquoi nous pouvons dire que l'électrotypie est surtout l'art de mouler exactement et solidement une composition ou une planche type.

Depuis quelques années on a perfectionné les procédés de l'électrotypie et on est arrivé à produire des clichés pouvant donner un plus grand nombre d'épreuves qu'autrefois. On est arrivé à ce résultat par une opération appelée *actéfrage*, qui consiste à déposer sur les parties soumises à l'action de la presse une couche de fer galvanoplastique, dépôt qui offre une grande résistance à l'usure.

ÉLECTROTYPIQUE. — Qui a rapport à l'électrotypie.

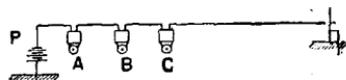
ÉLECTRO-VITAL. — Se dit des phénomènes électriques qui se produisent dans les actes vitaux.

ÉLECTRO-VITALISME. — Système dans lequel on explique par l'électricité les phénomènes de la vie animale.

ÉLÉMENT. — Mot qui dans le langage électrique est synonyme de couple voltaïque. Un élément se compose essentiellement d'un vase contenant deux corps hétérogènes et du liquide excitateur destinés à produire l'électricité (v. *PILE*). Une pile se compose d'un ou de plusieurs éléments. (A proprement parler, tout couple d'une pile est composé de deux éléments; l'*élément positif* et l'*élément négatif*. Il serait bon, pour éviter des confusions, que le mot *élément* cessât d'être employé comme synonyme de *couple*.)

ÉMAILLAGE PAR L'ÉLECTRICITÉ. — Expression impropre qui a servi à désigner un procédé consistant à recouvrir les objets à émailler, tels que la terre cuite, le grès, le verre, la porcelaine, d'une couche conductrice (chlorure de platine ou nitrate d'argent en dissolution), à cuire et à décorer ces objets avec de l'émail, et enfin après nouvelle cuisson à les recouvrir galvanoplastiquement de métal qui ne se dépose que sur les parties conductrices et non sur l'émail.

EMBROCHAGE. — Nom sous lequel on désigne un mode de disposition de circuit tel que le COURANT



Exemple de montage par embrochage.

destiné à actionner une série d'appareils les traversés successivement.

Ainsi le schéma ci-contre représente le montage par embranchement de 3 sonneries de disques A B C, actionnées par une pile P., le retour se faisant, dans le cas considéré, par la terre.

ENCARTEUSE ÉLECTRIQUE. — Machine à encarter les boutons. Cette machine, qui met à contribution les propriétés de l'ÉLECTRO-AIMANT, est destinée à fixer les boutons de boîtes, par trois ou quatre douzaines, sur les cartons tels qu'on les trouve dans le commerce.

Les boutons sont versés sur un plan incliné en forme d'éventail, muni de rainures qui, à leur extrémité inférieure, arrivent à n'avoir que la largeur d'un bouton. Ce plan incliné est animé d'un mouvement de trépidation qui sollicite constamment les boutons à descendre ; mais ils sont retenus à l'extrémité des rainures par un petit grillage monté sur une traverse.

Les cartons sont maintenus à la suite les uns des autres par de petits crochets, sur deux bandes de cuivre montées sur des poulies de renvoi à la manière des courroies sans fin. Les bandes glissent sur la table et entraînent les cartons. Ceux-ci viennent ainsi passer sous le plan incliné, et au-dessus d'un électro-aimant vertical dont le pôle supérieur est en forme de peigne, disposé de telle sorte que chacune de ses dents soit placée sous une des rainures.

La machine reçoit son mouvement d'une poulie à gorge. Au moyen de cames montées sur l'arbre de cette poulie, le grillage et sa traverse se soulèvent à intervalles égaux, de manière à laisser passer une rangée de boutons, puis retombent aussitôt. Les boutons sont reçus par le carton qui se trouve au-dessous, et à ce moment, un COURANT étant envoyé dans l'électro-aimant, chacune des dents du pôle en forme de peigne attire le bouton qui se trouve en face par sa queue, qui est en fer, bien entendu, et le tient dans une position verticale la tête en haut et la queue pressée contre le carton. Une traverse commandée par un excentrique s'abaisse alors sous l'action d'un fort ressort à boudin et vient appuyer sur les têtes, forçant les queues à traverser le carton où les boutons sont ainsi fixés. Le courant est alors interrompu et les bandes de cuivre avancent d'une certaine quantité, déterminée par l'espace qui doit exister entre chaque rangée de boutons. Elles reçoivent leur mouvement d'un rochet monté sur l'arbre des poulies, qui agit à intervalles réguliers aussitôt que la traverse commence à se relever après avoir pressé sur les têtes.

Lorsqu'un carton est rempli, une disposition spéciale fait agir le rochet de plusieurs dents à la fois pour amener immédiatement le carton suivant sous les rainures.

Une ouvrière est chargée de verser les boutons sur le plan incliné, au fur et à mesure de l'avancement des bandes de cuivre, de placer à la partie postérieure de la table les cartons vides et d'enlever à la partie antérieure les cartons pleins.

Le courant nécessaire à l'électro est fourni par une DYNAMO.

Cette machine, très curieuse à voir fonctionner, est construite par M. Ougier à la manufacture de boutons de MM. Rosenwald. (*La Nature*, n° du 26 décembre 1886.)

ENCLÈCHEMENT ÉLECTRIQUE. — Système au moyen duquel on peut rendre solidaires des appareils de manœuvre de trains, tels qu'aiguilles de bifurcation ou de gare, avec les signaux optiques destinés à protéger cette bifurcation ou cette gare. Cette soli-

darité peut être obtenue de deux façons : soit par des moyens purement mécaniques, soit par l'emploi d'un courant électrique. (V. SERRURE ÉLECTRIQUE, ÉLECTRO-SÉMAPHORE, DISQUE ÉLECTRIQUE, INTERRUPTEUR D'AIGUILLES.)

ENDOSMOSE ÉLECTRIQUE. — Déplacement produit dans un liquide à travers une membrane poreuse sous l'influence de l'électricité et dans le sens du courant.

ÉNERGIE. — Le mot énergie qui est couramment considéré, dans le langage ordinaire, comme le synonyme du mot *travail*, a été introduit dans la science par Rankine pour désigner le produit d'une force par le déplacement de son point d'application indépendamment de l'effet par lequel ce phénomène se révèle à nos sens, ou autrement dit, indépendamment de la forme sous laquelle se manifeste le travail produit : lumière, chaleur, élévation d'un poids, etc.

Auparavant on donnait souvent au mot *force*, même dans la science, l'acception qu'on a donnée depuis au mot *énergie*. Ainsi le fameux mémoire de Helmholtz, paru en 1847 et qui développait les conséquences de ce que nous appelons aujourd'hui : « conservation de l'énergie » était intitulé : *De la conservation de la force*.

Les électriciens se servent souvent du mot *énergie* pour désigner la capacité de travail d'un courant électrique, de même que les ingénieurs désignent sous le même nom d'« énergie » la capacité de travail d'une chute d'eau dont la hauteur et le débit sont donnés.

Dans le système CGS (V. UNITÉS ÉLECTRIQUES) l'unité d'énergie électrique est l'« erg » (du mot grec *ergon*). C'est le travail produit par une force d'une DYNE, dont le point d'application parcourt un centimètre parallèlement à la direction de la force. La *dyne*, qui est l'unité de force du système CGS, est la force qui imprime à une masse de 1 gramme une vitesse de 1 centimètre après avoir agi dessus pendant une seconde. Cette unité n'est pas actuellement employée en pratique, parce qu'on a l'habitude d'exprimer les forces en fonction des poids. De là la nécessité d'établir la relation qui existe entre la dyne et l'unité pratique ou poids.

Lorsqu'un corps tombe dans le vide, la pesanteur lui imprime une vitesse de g cent (981) par seconde; les forces étant proportionnelles aux accélérations, la force qui agit sur l'unité de masse est de g dyne; il en résulte que la force qui agit sur la masse du gramme (c'est-à-dire le poids) étant g dyne, la dyne vaut $\frac{1}{g}$ grammes. Le poids du gramme vaut 981 dynes

et la dyne vaut $\frac{1}{981}$ de gramme.

Dans quelques travaux récents on emploie comme unité d'énergie électrique le WATT ou VOLT-AMPÈRE, proposé à l'Association britannique en 1832 par M. Siemens. C'est l'énergie correspondant au produit d'un volt par un COULOMB d'électricité ou au produit d'un volt par un AMPÈRE pendant une seconde (1 watt = 1 km : 9.81). 1 cheval-vapeur = 9,81 × 75 = 736 watts.

ÉNERGIE POTENTIELLE. — Énergie emmagasinée.

ENREGISTREUR. — Appareil mécanique servant à enregistrer les diverses phases d'un phénomène quelconque et dans lequel l'électricité intervient pour déclencher ou réenclencher l'organe inscripteur de l'appareil.

Le principe des enregistreurs a été indiqué par Wheatstone. Son appareil se composait essentiellement d'un ÉLECTRO-AIMANT devant lequel était placée une palette reliée à un style. Cette palette était maintenue, au repos, dans une position déterminée par un ressort qui la pressait contre un arrêt. Lorsqu'un courant passait dans l'électro-aimant, la palette était attirée, et elle revenait à sa position primitive dès qu'on interrompait le passage du courant. Si donc on disposait devant le style, solidaire de la palette, un cylindre animé d'un mouvement de rotation uniforme et d'un mouvement de translation, le style traçait sur ce cylindre enregistreur une hélice continue tant que le courant était interrompu. Si, au contraire, le courant était rétabli pendant un temps très court, le style, mû par la palette, exécutait une oscillation complète et revenait ensuite à sa position primitive. L'hélice était donc interrompue et présentait une dentelure. La même action se produisait à chaque interruption du courant et on évaluait le temps séparant les deux actions en inscrivant à côté de l'hélice la courbe sinusoidale produite par un ÉLECTRO-DIAPASON.

Il existe une quantité d'enregistreurs électriques; nous donnons ci-dessous la description de quelques-uns d'entre eux, de types très différents; on trouvera aussi dans d'autres parties du Dictionnaire la description de plusieurs enregistreurs, notamment de ceux employés dans les WAGONS DYNAMOMÈTRES des Compagnies des chemins de fer de l'Est et du Nord (V. INDICATEUR ÉLECTRIQUE DES PRESSIONS et WAGON DYNAMOMÈTRE). Mais les exemples qui suivent ont pour but de montrer les services que peut rendre l'électricité dans cet ordre d'idées.

1° Enregistreur des profondeurs de la mer ou Bathomètre de William Siemens. — L'auteur de cet ingénieux appareil est parti de l'idée que la gravitation totale de la terre, mesurée à sa surface normale, est composée des attractions séparées de toutes ses parties, et que l'influence attractive de volumes égaux des diverses matières varie en raison directe de leur densité et en raison inverse du carré de la distance au point où se prend la mesure.

La densité de l'eau de mer est d'environ 1,026; celle des solides constituant la croûte de la terre est environ 2,763, densité moyenne de la pierre calcaire des montagnes, du granit, du basalte, du schiste et du grès; il en résulte que la présence d'une couche d'eau de mer doit exercer une influence sensible sur la gravitation totale du globe, si l'on en prend la mesure à la surface de la terre.

On détermine mathématiquement la valeur de cette influence, en considérant d'abord la puissance attractive d'une couche mince de substance située dans un plan perpendiculaire au rayon de la terre, en supposant que la terre soit une sphère parfaite, de densité uniforme, non soumise à l'action de la force centrifuge.

On démontre que l'attraction A , exercée par chaque tranche semblable est représentée par l'expression

$$d'A = 2\pi h \sin \alpha da;$$

h est la distance verticale de la tranche au point d'attraction.

En intégrant cette expression, d'abord entre les limites $h=0$ et $h=R$, R étant le rayon de la terre, puis entre les limites $\alpha=0$, $\alpha=\pi$, on a :

$$(1) \quad A = 2\pi h \left(1 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{h}{R}} \right).$$

Dans cette expression on peut négliger le terme $\sqrt{\frac{h}{R}}$ pour les petites valeurs de h , et la formule devient

$$(2) \quad A_1 = 2\pi h;$$

A_1 représente l'attraction totale due à la profondeur h , que nous supposons être celle de la mer en l'endroit considéré. Pour avoir l'attraction totale A de la terre, il faut dans la première formule (1) faire $h=R$, ce qui donne :

$$(3) \quad A = \frac{4}{3} \pi R.$$

On en conclut :

$$(4) \quad \frac{A_1}{A} = \frac{2\pi h}{\frac{4}{3}\pi R} = \frac{3}{2} \frac{h}{R}$$

ou, définitivement :

$$(5) \quad \frac{A_1}{A} = \frac{h}{\frac{2}{3}R}.$$

Il en résulte que, si l'eau de mer n'était pas présente, l'attraction totale de la terre mesurée à la surface de la mer diminuerait dans le rapport de la profondeur h à $\frac{2}{3}R$, et en tenant compte du poids de l'eau de mer, la pesanteur diminuerait au niveau de la mer dans le rapport de la profondeur h à $\frac{614}{270}R$, ou à peu près comme h est à R .

Ce rapport serait absolument exact si l'intérieur de la terre avait la densité de sa surface pierreuse; mais le coefficient que nous venons d'obtenir doit être diminué par rapport à la densité de la surface pierreuse ou à peu près dans le rapport de $\frac{2,75}{5,4}$. M. Siemens pense toutefois qu'il est plus sûr de ne pas se représenter entièrement sur ces déductions mathématiques dans la construction de l'échelle à mettre en usage, et il préfère recourir à des comparaisons faites avec la ligne de sonde.

Le bathomètre consiste principalement dans une colonne de mercure verticale contenue dans un tube d'acier, ayant à ses deux extrémités des lèvres en forme de coupe de manière à augmenter les surfaces terminales du mercure. La coupe inférieure est fermée au moyen d'un diaphragme fait avec une mince feuille d'acier plissé et le poids de la colonne de mercure est équilibré au centre du diaphragme par la force élastique, indépendante de la gravité, de deux ressorts d'acier en spirale trempés convenablement et de même longueur que la colonne de mercure.

Une des particularités de cette disposition mécanique, c'est qu'elle est parathermale, la diminution de la force élastique des ressorts, étant compensée par suite de l'élévation de température, par une diminution semblable de force potentielle dans la colonne de mercure, diminution qui dépend des proportions données aux surfaces du tube d'acier et de ses lèvres en forme de coupe.

Les points de suspension de l'instrument sont à une petite distance au-dessus de son centre de gravité; l'emploi d'un joint universel permet de lui faire conserver la position verticale, malgré le mouvement du navire; les oscillations verticales du mercure sont presque entièrement évitées, l'aide d'une contraction locale de la colonne de mercure, réduite à un très petit orifice. Un contact électrique que l'on établit par tâtonnements entre l'extrémité d'une vis

micrométrique et le centre du diaphragme élastique inférieur avertit, par l'intermédiaire d'une sonnerie, du point précis où il y a lieu de faire la lecture. Le pas de la vis et les divisions de sa circonférence sont calculés de manière que chaque division représente la diminution de pesanteur due à une brasses de profondeur.

Les variations de la pression atmosphérique n'ont aucun effet sur la graduation de cet instrument. La seule correction qui soit indispensable est celle due à la latitude; elle est donnée par un tableau qui accuse des variations moindres sur mer que sur terre, à cause de l'absence des masses qui s'élèvent au-dessus de la surface, de la distance plus grande des masses irrégulières des continents de la terre, et enfin de la densité très uniforme de l'eau de mer.

A ce tableau sont jointes des tables donnant les résultats des observations faites avec cet instrument dans une double traversée de l'Atlantique, à bord du bateau à vapeur *le Faraday*. Ces mesures ont été prises pendant l'expédition du navire destinée à la pose des CABLES sous-marins. Les relevés de l'instrument étaient comparés avec ceux des sondages que l'on faisait au moyen de l'appareil à fil d'acier de sir William Thomson; dans tous les cas, ces comparaisons ont été suivies d'un accord aussi complet qu'on pouvait le désirer, en tenant compte du fait que la ligne de sonde donne la profondeur immédiatement au-dessous du navire, tandis que le bathomètre donne la profondeur moyenne d'une certaine surface dont l'étendue dépend de la profondeur.

Il y a lieu de croire que le bathomètre peut rendre des services précieux aux marins en les avertissant des changements de profondeur longtemps avant qu'ils aient atteint un fond dangereux. Le bathomètre a permis dans un cas de découvrir l'extrémité perdue

d'un câble télégraphique, par la seule connaissance de la profondeur de la mer au point où cette extrémité avait été perdue. On pourra aussi, au moyen du bathomètre, reconnaître la position d'un navire, sans relevés astronomiques, lorsque les lignes d'égale profondeur de l'Océan seront connues exactement.

2° Enregistreur des différentes phases d'action des freins continus. — Cet

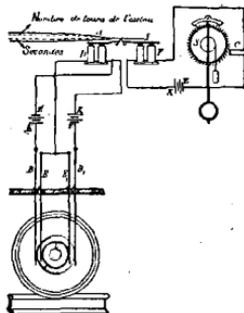


Fig. 1.

appareil est employé sur le chemin de fer métropolitain de Berlin pour se rendre compte de la puissance des freins.

Sur l'essieu du véhicule muni du frein sont mon-

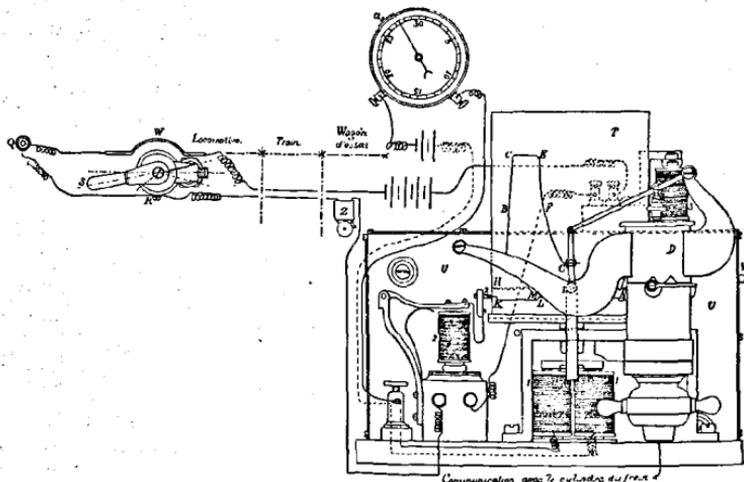


Fig. 2.

tés un anneau métallique et un COMMUTATEUR circulaire constitué par un disque de bois, sur la demi-circonférence duquel est incrustée une bande de

métal. Des frotteurs E, B, et E, E, appuient sur ces deux pièces (fig. 1).

Dans le wagon se trouve l'appareil enregistreur

proprement dit: Il se compose d'un mouvement d'horlogerie qui entraîne une bande de papier sur laquelle des crayons, portés aux extrémités de deux leviers analogues aux COUTEAUX du récepteur télégraphique Morse, peuvent marquer des traits plus ou moins longs lorsque les ARMATURES dont sont munis ces leviers sont attirées par les électro-aimants D et F. L'électro D est relié électriquement avec les frotteurs dont il a été parlé plus haut, et des piles sont intercalées dans le circuit, ainsi que le montre le schéma. L'électro F est de même intercalé dans le circuit d'une pile, ainsi qu'un appareil d'horlogerie.

Cet appareil ouvre et ferme le circuit de la pile à des intervalles de temps déterminés, de sorte que le crayon *f* marque sur la bande de papier des traits d'égale longueur: l'intervalle compris entre deux traits consécutifs représente une seconde. Quant au deuxième crayon *d*, il inscrit sur la bande de papier le nombre de tours effectués par la roue pendant le même espace de temps, en traçant une succession de barres parallèles aux premières, mais plus courtes. Il est facile de comprendre, à l'inspection de la figure, le rôle joué par les frotteurs pour la production de ces traits.

L'appareil du même genre imaginé par M. Kapetyr, représenté *fig. 2*, donne des indications plus complètes que le précédent pour le contrôle des effets

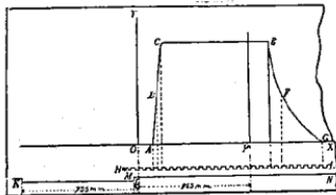


Fig. 3.

produits par les freins à air comprimé. Il enregistre, en effet, l'instant précis où l'on introduit l'air dans la conduite et celui où l'on desserre le frein; il indique aussi la pression exercée par celui-ci à un moment donné et la durée de l'expérience. Il consiste en un mouvement d'horlogerie contenu dans une boîte U et qui fait tourner un tambour T recouvert de papier. Un indicateur D donne à chaque instant la pression dans les cylindres du frein et l'enregistre sur le tambour à l'aide d'un crayon *o*. La *fig. 3* donne la courbe ABCEFG tracée par ce crayon. Au-dessous et dans le même plan vertical, un autre crayon *f* est animé d'un mouvement de va-et-vient vertical dans l'espace d'une seconde; ce mouvement est provoqué par l'action d'un électro-aimant intercalé dans un circuit alternativement ouvert et fermé par l'appareil chronométrique. La courbe décrite par le crayon *f* est représentée en HI sur la *fig. 3*; elle permet de contrôler la régularité du mouvement de rotation du tambour et de mesurer les abscisses du diagramme. Un troisième crayon *2*, actionné aussi par un électro-aimant, sert à contrôler le fonctionnement du mécanisme d'ouverture et de fermeture de la valve d'admission de l'air. Il enregistre donc l'instant où l'air est introduit dans la conduite et l'instant où il en est expulsé. Mais, comme le crayon *2* ne peut être commodément placé dans le même plan vertical que les crayons *o* et *f*, les traces K et M du

diagramme (*fig. 3*) doivent être reportées vers la droite à une distance de 0^m,975,5 pour les mettre en concordance avec les autres parties de ce diagramme.

Pour mettre le tambour T en mouvement, il suffit de soulever le doigt V placé à droite, soit à la main, soit électriquement au moyen de l'électro-aimant S monté sur l'indicateur. Cet électro est intercalé dans le même circuit que l'électro du crayon *2*. Afin de ne commencer l'enregistrement qu'autant que le tambour est en pleine marche, c'est-à-dire qu'autant que son mouvement est bien uniforme, on place sur la machine du train un bouton Q que le mécanicien presse lorsqu'il est sur le point d'envoyer l'air dans la conduite du frein. Il lance ainsi un courant électrique qui actionne l'électro *3* et met, par suite, en mouvement l'appareil d'horlogerie; au même instant, la sonnerie Z placée dans le wagon d'essai se met à tinter, et elle continue à résonner tant que dure l'émission de l'air.

En examinant le diagramme représenté *fig. 3*, on voit que l'air a commencé à être introduit dans le cylindre du frein trois secondes et demie après l'ouverture de la valve. Au bout de cinq secondes, la pression de l'air a acquis la moitié de sa valeur maximum. Ce maximum a été atteint six secondes un quart après l'ouverture de la valve; en suivant le tracé, on voit que le point P, qui marque l'instant où l'air commence à être chassé, est à gauche de l'extrémité du point E, qui indique le moment où la pression commence à décroître. Au bout de huit secondes et demie après l'ouverture de la valve de purge, la conduite était à moitié vidée, et elle a mis dix-neuf secondes et demie à se vider entièrement; à ce moment, les freins étaient desserrés.

Un électro-aimant additionnel, à l'aide duquel on enregistrait sur le tambour le nombre de révolutions des essieux, permettrait de se rendre un compte exact de l'efficacité d'arrêt d'un frein donné.

3^e Enregistreurs pour mesurer la charge et la décharge des accumulateurs. — MM. de Montaud et C^o ont imaginé, de concert avec MM. Richard frères, des appareils enregistreurs très ingénieux et très commodes pour mesurer la charge et la décharge des ACCUMULATEURS.

Le premier de ces appareils, destiné à l'étude des courants de charge et de décharge, est une combinaison du galvanomètre à arc de poisson de M. Marcel Deprez (instrument qui sert à la fois d'AMPÈREMÈTRE et de VOLTÈMÈTRE) avec un enregistreur écrivant. Une plume spéciale trace sur une bande de papier, déroulée par un mouvement d'horlogerie à la vitesse de 0^m,02 par minute, une suite de lignes correspondant au nombre d'AMPÈRES fournis ou débités à tout instant du travail (*fig. 4*). On peut remplacer la bande de papier par un cylindre recouvert de papier. Les vitesses les plus convenables pour le contrôle du travail des accumulateurs sont de un tour en une, trois et demie, sept et vingt-quatre heures. On obtient ainsi des courbes permettant de savoir combien on a fourni d'AMPÈRES-HEURES aux accumulateurs et combien ils en ont restitué.

Le deuxième appareil enregistreur a pour but d'indiquer le moment où la charge d'un accumulateur est terminée et la quantité d'énergie disponible après un fonctionnement de quelque durée.

On s'appuie pour cela sur la remarque suivante: A la charge, il y a désulfatation du positif et du négatif et libération de l'acide sulfurique dans le bain, ce qui entraîne dans le poids des plaques une perte

évaluée par M. d'Arsonval à 3^r,73 par ampère-heure emmagasiné; mais, comme à la décharge la réaction est inverse (sulfatation du positif et du négatif en combinaison avec l'acide sulfurique), les électrodes regagnent le poids qu'elles avaient perdu pendant la charge, soit 373 grammes par 100 ampères-heures. Cette différence de poids est suffisante pour pouvoir être appréciée par une balance. Cet instrument est représenté fig. 5. Il se compose d'un cadre en bois soutenu par le plateau carré de la balance, et portant l'accumulateur baignant et flottant librement dans l'eau acidulée qui remplit une grande caisse. A l'aide

de contrepois, on tare l'accumulateur lorsqu'il est inerte. Puis on règle l'appareil à l'aide d'un poids vertical fixé sur le fléau, de manière que l'aiguille de l'enregistreur se déplace de 0^m,001 pour une variation de poids de 3^r,73. A mesure que l'accumulateur se charge, son poids diminue, la tare fait descendre le plateau, le fléau de la balance s'incline, l'aiguille de l'enregistreur se déplace, et le nombre de millimètres compris entre le point initial de cette aiguille et celui qu'elle occupe au moment considéré donne le nombre d'ampères-heures recueillis ou fournis par l'accumulateur.

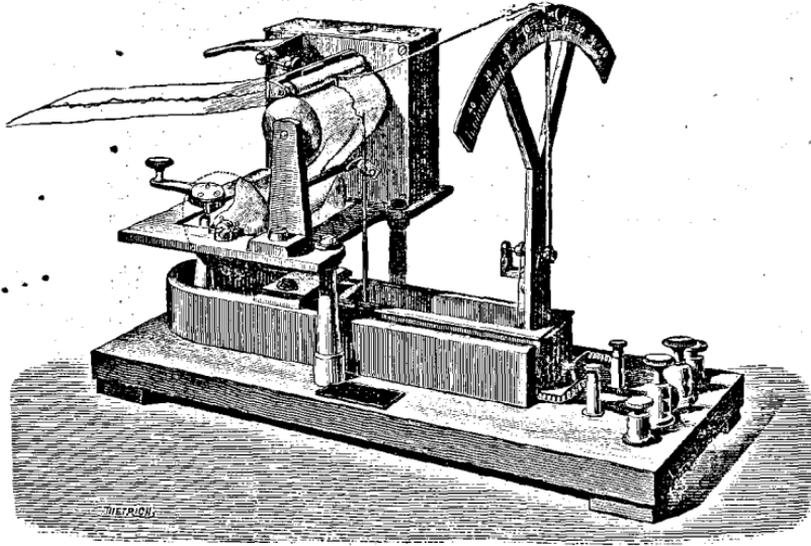


Fig. 4. — Galvanomètre Marcel Deprez, avec Enregistreur Richard frères.

4° Enregistreurs Gimé.—M. E. Gimé a imaginé toute une série d'appareils enregistreurs (enregistreur de la vitesse des machines, enregistreur et indicateur de la pression des chaudières, de la pression produite par les machines pneumatiques, de la pression des gaz, de la pression hydraulique, etc.) fondés sur le principe suivant: un baromètre à mercure contient à l'intérieur de sa grande branche des contacts de millimètre en millimètre; ces contacts sont reliés à un rhéostat intercalé dans le circuit d'une pile constante. Dans ce même circuit est intercalé aussi un solénoïde dont le noyau de fer est suspendu librement à un fléau de balance. L'extrémité de ce fléau, muni d'un style, se déplace devant un cylindre enregistreur. Lorsque la pression augmente sur la surface du mercure dans la branche ouverte du baromètre, la colonne dans la branche fermée monte et la somme des résistances du rhéostat diminue; de ces variations dans la résistance du circuit résultent des variations dans le courant de la pile disposée au poste enregistreur et parcourant le cir-

cuit correspondent des variations d'attraction du solénoïde sur son noyau, qui transmet ces mouvements à la balance portant le style enregistreur. Nous donnons un spécimen de ces enregistreurs au mot TÉLÉMARÉOGRAPHIE. Les conditions essentielles du bon fonctionnement de ces instruments sont la constance de la batterie employée et un étalonnage rigoureusement précis.

Pour éviter la polarisation de la batterie, on ne fait passer le courant que pendant des périodes très courtes et séparées par des intervalles aussi longs que possible; mais alors on n'a pas un enregistrement continu.

5° Enregistreurs météorologiques.— Ces appareils servent à enregistrer d'une façon périodique ou continue les indications des instruments météorologiques: baromètre, thermomètre, psychromètre, udomètre, ombromètre ou pluviomètre, anémomètre, girouette, etc.

Ils relèvent généralement de l'art de l'horlogerie et de la mécanique de précision; mais l'électricité

y joue souvent un rôle important, soit pour fournir et distribuer les légères forces motrices nécessaires à la mise en action instantanée des compteurs, mesureurs et pointeurs des divers instruments; soit pour la transmission de signaux et d'indications à distance.

Comme les observations météorologiques portent, soit sur la hauteur du niveau d'une colonne mercurielle, soit sur la position de l'aiguille d'un cadran indicateur ou compteur, la constatation et l'enregistrement peuvent se faire :

1° A l'aide de mesureurs électriques déterminant à

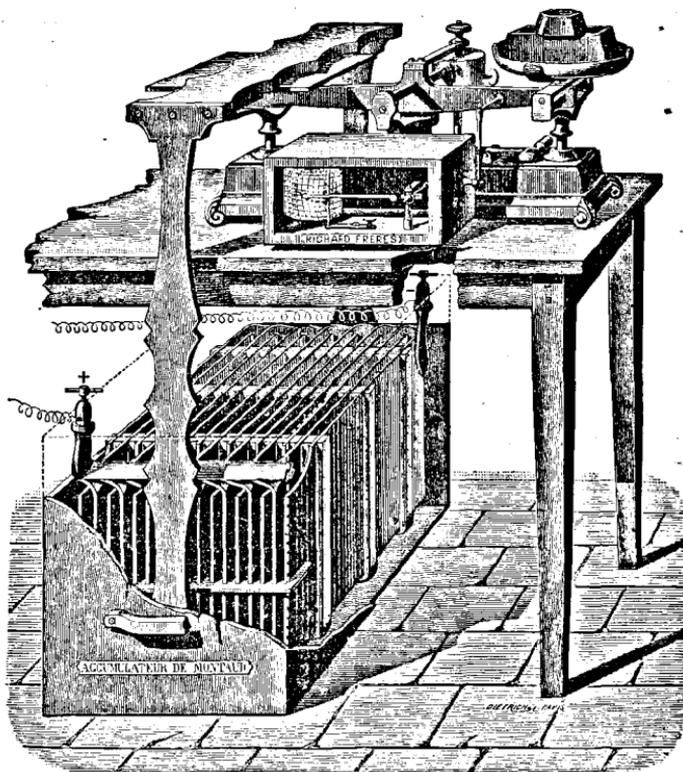


Fig. 1. — Balance avec Appareil enregistreur de la charge et de la décharge de l'Accumulateur de Montaud.

chaque observation la mesure à partir d'un repère fixe.

2° A l'aide d'indicateurs électriques reproduisant les unités de variation du liquide ou du cadran de l'instrument d'observation sans revenir à un repère fixe.

En appliquant ces deux procédés on peut enregistrer les observations en chiffres ou en courbes graphiques.

Voici une description sommaire des principaux enregistreurs météorologiques qui ont figuré aux diverses expositions d'électricité.

Dans les instruments à *enregistrement direct* : thermomètres métalliques, hygromètres à cheveu, baromètres à balance, anémomètres de Robinson, pluviomètres à tubes, girouettes du P. Secchi, ce sont les instruments eux-mêmes qui déterminent mécaniquement la position d'un léger style et l'ordonnée droite ou circulaire de sa pointe par rapport à une ligne de base tracée sur une bande de papier sous l'action de courants très courts distri- bués aux divers instruments à des intervalles de temps uniformes; un ELECTRO-AIMANT appuyé par son armature sur la branche du style et le papier est troué. Au retour, l'arma-

ture dégage la pointe du style et, agissant sur un rochet, fait avancer le papier d'une quantité fixe. Une seule horloge peut commander plusieurs instruments, qui peuvent être placés dans des stations difficilement accessibles et sont alors actionnés à distance. Ainsi disposés, ils prennent les noms de *thermographe*, *hygrographe*, *barographe*, *anémographe*, *pluviographe*, etc. Un appareil enregistrant collectivement les indications de plusieurs de ces instruments constitue un *météorographe*.

Dans certains appareils *météorologiques* envoyés à Paris à l'Exposition d'électricité de 1881, par M. *Olto Schaffter* de Vienne (Autriche), les indications données par l'instrument étaient transmises à distance. Le style, mobile sur un chariot devant une bande de papier dont le milieu représente généralement la ligne des abscisses, se déplace, dans un sens ou dans l'autre, sous l'action des courants inverses envoyés par l'instrument, à l'aide de trains différentiels et de RELAIS polarisés; ces appareils sont souvent complétés par un système imprimeur, fournissant les observations imprimées.

L'*anémographe* de MM. Hayet et Lignereux, de Paris, transmet à distance sur un seul fil les indications d'un anémomètre de Salleron et les enregistre sur une bande de papier Morse. Ce système, combiné par M. Hervé Mangon, consiste dans l'emploi d'une horloge placée au pied de l'anémomètre et qui envoie successivement sur la ligne: 1° un courant synchronisateur de l'horloge du poste récepteur; 2° un courant pour chaque centaine de tours effectués dans une période fixe de quatre minutes par l'anémomètre à tasses de Robinson; 3° un courant indicateur de la girouette dont les directions principales sont représentées par des courants isolés les uns des autres devant un disque commutateur. Comme ces courants d'observation doivent arriver successivement par le même fil et actionner successivement les électro-aimants pointeurs, il faut établir un synchronisme parfait aux deux extrémités du fil entre les commutateurs des appareils transmetteur et récepteur. Ce synchronisme est effectué électriquement.

Il serait trop long d'énumérer ici tous les appareils à enregistreurs électriques; car, le principe restant le même, les dispositions peuvent varier à l'infini. Mais nous ne saurions passer sous silence le *météorographe* et le *télé-météorographe* de M. Van Rysselberghe, qui transmettent télégraphiquement et d'une manière permanente les observations aux divers instituts météorologiques d'Europe où elles s'enregistrent directement.

Le *météorographe* de M. Van Rysselberghe permet d'obtenir directement sur une feuille métallique enveloppant le cylindre enregistreur la gravure des graphiques représentant en courbes les indications des divers instruments enregistrés automatiquement à des intervalles réguliers de dix minutes.

A citer également les appareils du professeur Rossi de Rome pour l'étude des mouvements sismiques (mouvements du sol déterminés par les tremblements de terre). Ces appareils comprennent deux transmetteurs (le *protosismographe* et le *microsismographe*) et un enregistreur unique à bande Morse déroulée par un mécanisme d'horlogerie.

Le *protosismographe* se compose essentiellement d'un pendule bouie à seconde, placé au centre, et d'aiguilles verticales supportées par des ressorts très flexibles. Ces aiguilles, dont la pointe est placée à proximité de coupelles à mercure, sont reliées, à l'aide de fils de soie d'égale longueur, d'une part au pendule central, et d'autre part aux quatre colonnes qui composent le bâti de l'instrument, colonnes qui sont

orientées aux quatre points cardinaux. Grâce à cette disposition, une oscillation purement verticale donne des contacts simultanés dans les quatre coupelles, et dans les mouvements à composante horizontale l'action des fils de soie supprime ou retarde quelques-uns de ces contacts et permet de déterminer la direction du premier mouvement d'après la nature des contacts enregistrés par les quatre électro-aimants pointeurs correspondant aux quatre coupelles.

Le *microsismographe* enregistre les très petits mouvements du sol. Sa disposition est la même que celle du *protosismographe*, avec cette différence toutefois que les fils de soie sont attachés à quatre pendules de longueurs différentes de celle du pendule central.

Tous les très petits mouvements de cet appareil, d'une grande sensibilité, produisent des contacts qui s'enregistrent par un seul électro-aimant sur la bande de l'enregistreur.

Enfin le *microphone sismique* porte un contact mobile, un support pour l'installation d'une montre dont le tic tac, reproduit par le microphone, est fort utile dans les observations sismiques.

Les coups secs ou battements précipités entendus dans le téléphone caractérisent nettement les secousses ou les mouvements ondulatoires de la croûte terrestre. (*Rapport de M. Violle*. — Exposition de 1881.)

ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ. — L'enseignement de l'électricité est donné en France par l'École supérieure de télégraphie, instituée par arrêté du 25 juin 1878; cette école, installée à Paris, dépend de l'Administration des Postes et Télégraphes, et est destinée spécialement à recruter le personnel du service technique. Indépendamment des élèves de l'École polytechnique, classés d'après leur numéro de sortie dans les télégraphes, sont admis à la suite d'un concours dont le programme est déterminé par arrêté spécial: 1° les agents des Postes et des Télégraphes comptant deux ans de services; 2° les licenciés des sciences, les anciens élèves de l'École polytechnique, de l'École normale, de l'École des Mines, de l'École des Ponts et Chaussées, de l'École forestière, de l'École navale, de l'École centrale ayant satisfait aux examens de sortie. Des auditeurs libres, français ou étrangers, peuvent être autorisés à suivre les cours. La durée des études est de deux ans. Les élèves de l'École prennent le titre d'élèves-ingénieurs des Télégraphes et concourent ensemble, sans distinction d'origine. Après avoir subi l'examen de sortie, ils sont nommés sous-ingénieurs des Télégraphes et attachés au service technique. Les auditeurs libres peuvent obtenir un diplôme spécial. L'enseignement de l'École porte sur les matières suivantes:

1^{re} année. Droit administratif; télégraphie (appareils et systèmes usuels de communication); exploitation télégraphique; exploitation postale; cours pratiques d'anglais et d'allemand; conférences de télégraphie militaire et de télégraphie optique; conférences d'architecture et de construction; exercices journaliers de manipulation des appareils à cadran, Morse, Hughes, etc.; manœuvres de télégraphie militaire; missions diverses destinées à mettre les élèves au courant de l'exploitation et du service technique.

2^e année. Machines à vapeur; construction de lignes; physique appliquée à la télégraphie; mesures électriques et télégraphie sous-marin; chimie; cours pratiques d'anglais et d'allemand; conférences sur les nouveaux appareils et les nouveaux systèmes de communication; conférences sur la téléphonie, la lumière électrique et le transport de la force par l'électricité;

exercices de mesures électriques; manipulations de chimie; exercices sur les nouveaux appareils; manœuvres de télégraphie militaire; missions pour l'étude de la télégraphie sous-marine; missions à l'étranger. (Les élèves doivent rapporter un journal de mission.)

Outre l'École supérieure de télégraphie, école très spéciale, ainsi qu'on peut s'en rendre compte en consultant son programme, il existe des cours ou au moins complets d'électricité à l'École centrale des Arts et Manufactures et à l'École de physique et de chimie de la Ville de Paris. Mais on cherche en France le pendant des écoles électrotechniques répandues sur le territoire allemand, sur le modèle de celles de Hanovre et de Milan, et enfin de l'Institut électrotechnique Montefiore à Liège, déjà assez célèbre pour être fréquenté par des ingénieurs venus de plusieurs parties du monde.

L'Institut électrotechnique Montefiore fait partie des écoles spéciales annexées à l'Université de Liège; c'est une fondation de M. le sénateur Montefiore, qui, en 1883, a offert à l'État belge la somme de 100.000 francs pour créer à Liège un enseignement complet des applications de l'électricité. Il est dirigé par M. le professeur Eric Gérard, assisté de M. Zumbini, ingénieur électricien. Le but de cet Institut est de former des ingénieurs électriciens par une suite d'études théoriques et pratiques propres à initier les élèves à la connaissance de l'électricité et de ses applications.

L'enseignement de l'Institut électrotechnique se compose de:

I. Un cours sur la *théorie* de l'électricité et du magnétisme.

II. Un cours d'*électrotechnique* comprenant:

- Étude des générateurs de courant et description des lignes électriques;
- Application de l'énergie électrique à l'éclairage, à la production et au transport de la force, et à la métallurgie;
- Examen des systèmes permettant de communiquer à distance: télégraphie, téléphonie, signaux électriques divers.

III. Un ensemble de *travaux pratiques* d'atelier et de laboratoire (journallement 6 heures pour la section des ingénieurs).

Les élèves construisent, de toutes pièces, un GALVANOMÈTRE Deprez-d'Arsonval et emploient environ deux mois à ce travail pratique. Les instruments de mesure ainsi exécutés à l'atelier sont employés, concurremment avec les appareils appartenant aux collections de l'Institut, dans les travaux de laboratoire.

Il y a en outre un atelier mécanique. Deux laboratoires pour les travaux de précision renferment une collection d'appareils classiques de mesure et de recherches.

Un laboratoire destiné aux mesures industrielles est pourvu:

- D'un moteur à gaz, système Otto, de huit chevaux, à un cylindre;
- De trois moteurs hydrauliques, système Dulait fils, de Charleroi: ces moteurs sont de la force de quatre chevaux chacun;
- D'une collection de machines dynamo-électriques, d'accumulateurs, de transformateurs, etc.

Une salle photométrique, dans laquelle se trouve entre autres un photomètre Rousseau destiné à la mesure des intensités lumineuses des lampes à arc; ce photomètre très simple, donne, paraît-il, de bons résultats.

Une salle consacrée aux travaux électro-chimiques. Deux salles spéciales de recherches.

L'Institut reçoit deux catégories d'élèves:

I. La *section des ingénieurs*, comprenant les ingénieurs et les officiers qui consacrent une année à l'étude de l'électrotechnique.

II. La *section des élèves électriciens*, formée de jeunes gens terminant en même temps d'autres cours de l'Université, et qui passent deux années à l'Institut. Les cours durent huit mois par an.

Ces renseignements intéressants sont extraits d'une éloquentة allocution prononcée par M. P. Lemonnier à l'assemblée générale du Syndicat professionnel des industries électriques. M. Lemonnier terminait en émettant le vœu qu'un enseignement électrotechnique fût créé avec une importance suffisante dans chacune des écoles qui donnent accès à l'industrie, soit pour la contrôler (École des Mines, École des Ponts et Chaussées), soit pour y prendre une part active (École centrale, École des Arts et Métiers). Il serait à désirer, disait-il, que ce vœu fût entendu des ministres compétents.

ENTRÉE DE POSTE. — Installation des lignes télégraphiques (fils aériens ou câbles souterrains) à l'entrée d'un BUREAU TÉLÉGRAPHIQUE OU D'UN BUREAU TÉLÉPHONIQUE.

ENTREFER. — Nom sous lequel M. Cabanellas désigne l'espace rempli d'air et de fil de cuivre compris entre les faces intérieures des inducteurs et la ou les faces extérieures du noyau de fer de l'anneau d'une MACHINE ÉLECTRIQUE. Dans le cas où l'anneau n'est pas muni de noyau de fer, l'entrefer désigne l'espace existant entre les faces intérieures des inducteurs.

ÉPAISSEUR ÉLECTRIQUE. — Poisson, assimilant l'électricité à un fluide matériel répandu sur la surface d'un corps électrisé, imaginait de porter sur la normale à cette surface, en chacun de ses points, une longueur proportionnelle à la charge mesurée. Le lieu des extrémités de ces ordonnées constitue une surface qui caractérise la distribution de l'électricité à la surface du corps considéré. Il appelle *épaisseur électrique* en chaque point la distance de cette surface à celle du corps.

Coulomb, comparant au contraire l'électricité à un fluide formant à la surface du corps une couche d'épaisseur uniforme, mais de densité variable, considérait la DENSITÉ ÉLECTRIQUE en chaque point d'un corps électrisé.

ÉQUATEUR MAGNÉTIQUE. — On nomme *équateur magnétique* la courbe qui passe par tous les points où l'inclinaison est nulle. (V. AIGUILLES AIMANTÉES et BOUSSOLES.)

ÉQUATORIALE (Ligne). — On appelle *ligne équatoriale* la ligne perpendiculaire à la ligne AXIALE, c'est-à-dire perpendiculaire à celle qui joint les pôles d'un aimant.

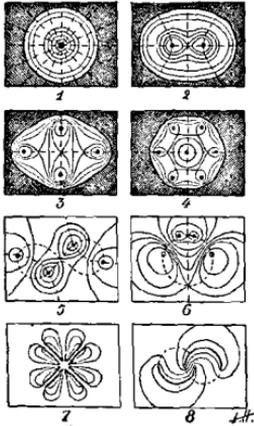
ÉQUIPAGE GALVANIQUE. — Nom sous lequel on désigne certaines dispositions de conducteurs destinées à rendre mobiles des portions de courant. Cette disposition a été imaginée par Ampère pour étudier les actions des courants sur les courants et celles des courants sur les aimants. — On désigne aussi sous ce nom le système ASTATOÏQUE formé par deux aiguilles aimantées parallèles solitaires et dont les pôles sont opposés par deux de noms contraires.

ÉQUIPOTENTIEL. — D'égal potentiel.

Point équipotentiel. — Les points dont les POTENTIELS sont égaux s'appellent points équipotentiels.

Ligne équipotentielle. — Ligne formée par une série de POINTS ÉQUIPOTENTIELS.

M. A. Guebard a proposé de faire application des ANNEAUX de Nobili à la détermination expérimentale des lignes équipotentielles. Voici le principe de sa méthode. Lorsqu'une plaque métallique est isolée dans un BAIN ÉLECTROLYTIQUE, on voit se produire à sa surface des anneaux de Nobili dont la forme dépend de celle des ÉLECTRODES et de la position relative de celles-ci, et toutes les fois qu'on peut déterminer théoriquement les lignes équipotentielles à la surface de



la plaque on constate qu'elles se confondent avec les anneaux. Cette méthode a été appliquée par plusieurs auteurs, et nous reproduisons quelques-uns des tracés qu'ils ont obtenus. Les lignes grasses indiquent la forme de l'électrode positive plane et le contour de l'extrémité de l'électrode négative qui est en regard de l'électrode positive. Les lignes maigres reproduisent la forme des anneaux obtenus. Par exemple, dans la fig. 1, l'électrode positive est circulaire et l'électrode négative se termine par une pointe unique vis-à-vis du centre du cercle; dans la fig. 2, l'électrode négative se termine par deux pointes; dans la fig. 7, par quatre lignes droites en croix; dans la fig. 8, par deux lignes courbes. Il est facile, sur ces exemples, de se rendre compte que les anneaux offrent bien un diagramme des lignes de niveau.

Surface équipotentielle. — Surface dont tous les points ont le même POTENTIEL. Un point électrisé astringé à rester sur une surface équipotentielle n'a aucune tendance à se déplacer sur cette surface, qui est ainsi une surface d'équilibre ou de niveau. Deux surfaces équipotentielles à des potentiels différents ne peuvent se couper, le même point ne pouvant pas avoir plus d'un potentiel; mais une surface équipotentielle peut se couper elle-même et donner lieu à des points et lignes d'équilibre. La surface d'un conducteur en équilibre électrique est une surface équipotentielle; si l'électrisation du con-

ducteur est positive sur toute la surface, le potentiel diminue à mesure qu'on s'éloigne de la surface dans toutes les directions et le conducteur est enveloppé par une série de surfaces de potentiels moindres. Si certaines parties du corps sont électrisées positivement et d'autres négativement, la surface équipotentielle complète se composera de la surface du conducteur lui-même et, de plus, d'un système d'autres surfaces coupant la surface du conducteur suivant les lignes qui séparent les régions positives des régions négatives. Ces lignes sont des lignes d'équilibre. En traçant une série de surfaces équipotentielles correspondant aux potentiels 1, 2, 3...n, on peut obtenir la carte d'un champ de manière à mettre ses propriétés en évidence. (Gordon.)

ÉQUIVALENT ÉLECTRO-CHIMIQUE. — L'équivalent électro-chimique d'un corps est la quantité de ce corps libérée par le passage de l'unité de quantité d'électricité (1 COULOMB). L'équivalent électro-chimique est proportionnel à l'équivalent chimique. Ainsi, si dans un VOLTAMÈTRE le passage d'un coulomb libère une quantité q d'hydrogène, la même quantité d'électricité, passant dans une solution de sulfate de cuivre, libérera une quantité q' de cuivre telle qu'on aura :

$q : q' :: 1 : 31,5$.
(1 étant l'équivalent chimique de l'hydrogène et 31,5 étant l'équivalent chimique du cuivre.)

ERG. — Unité de travail CGS. — C'est la quantité de travail développée par une DYNE sur une distance de $0^m,01$; en d'autres termes, c'est la quantité de travail nécessaire pour faire parcourir $0^m,01$ à un corps quand la force contraire est d'une dyne. (V. UNITÉS.)

ERGOMÈTRE. — Appareil destiné à mesurer le travail électrique. M. Weston a construit un ergmètre basé sur l'emploi de conducteurs se déplaçant dans un champ uniforme, de telle sorte que les lignes de force soient coupées toujours dans le même sens, quelle que soit l'amplitude du mouvement des conducteurs. Il se compose d'un disque qui se déplace entre les pièces polaires très rapprochées d'un ÉLECTRO-AIMANT semblable à celui d'une DYNAMO. Ce disque est traversé par un courant; les extrémités des bobines de grande résistance qui engendrent le CHAMP MAGNÉTIQUE sont en relation avec les points du circuit entre lesquels on veut mesurer le travail électrique; le disque en tournant actionne un compteur. Le nombre de tours de cette sorte de petite machine dynamo est à chaque instant proportionnel à l'activité; autrement dit, les indications du compteur sont proportionnelles au travail électrique produit.

ESPACE NEUTRE. — Région dépourvue de toute propriété magnétique et qui existe entre les deux pôles d'un aimant. (V. AIMANT.)

ESSAI DU PÉTROLE au moyen de l'électricité. (V. PÉTROLE.)

ÉTALON ÉLECTRIQUE. — Type des différentes unités électriques. (V. UNITÉS ÉLECTRIQUES ET PILLES.)

ÉTALONNAGE d'un galvanomètre. — L'étalonnage d'un galvanomètre est l'opération qui consiste à marquer sur une graduation les intensités en AMPÈRES ou fractions d'ampères correspondant à chaque déviation. On peut opérer pour cela de bien des manières différentes; voici les deux méthodes les plus employées.

1° On fait passer pendant un temps déterminé (t secondes, par exemple) un courant donné à travers une cuve électrolytique et le galvanomètre à étalonner, et on maintient la déviation constante pendant l'expérience. On peut calculer facilement la quantité d'électricité Q (exprimée en coulombs) qui a traversé la cuve et le galvanomètre. Il suffit, en effet, de peser le métal qui s'est déposé dans le voltamètre. Connaissant Q , on déduit l'intensité I de la formule :

$$I = \frac{Q}{t} \text{ en ampères.}$$

2° On introduit dans le même circuit que le galvanomètre une résistance R fixe et connue. On mesure par une méthode quelconque (à l'aide d'un voltamètre, d'un électromètre, etc.) la différence de POTENTIEL entre les deux extrémités de la résistance R , et si E représente cette différence de potentiel, on calcule l'intensité I par la formule d'Ohm :

$$I = \frac{E}{R}$$

ÉTAT ÉLECTRIQUE. — État permanent. — État de régime auquel le courant arrive après avoir passé par l'ÉTAT ÉLECTRIQUE VARIABLE.

État variable. — Nom donné à la période qui précède l'état de régime lorsqu'un conducteur est relié d'un côté à une source électrique et de l'autre à la terre. Pendant cette période le courant arrive d'abord à l'extrémité du conducteur avec une intensité faible qui augmente peu à peu jusqu'à un maximum, qui est l'ÉTAT DE RÉGIME ou l'ÉTAT PERMANENT.

ÉTAT SENSITIF. — M. William Spottiswoode et M. J.-F. Moulton ont appelé « état sensitif des décharges électriques à travers les gaz raréfiés » l'état dans lequel la décharge est affectée par la présence ou l'approche d'un conducteur.

Voici comment M. Gordon décrit le phénomène, dans son *Traité expérimental d'Électricité et de Magnétisme* :

« On a souvent remarqué que la colonne lumineuse produite dans les tubes à vide, par la décharge électrique, manifeste quelquefois une grande sensibilité quand on approche du tube le doigt ou un autre corps conducteur. Cette colonne est tantôt repoussée, tantôt coupée.

« Le degré de sensibilité varie dans des limites écartées. On rencontre souvent des décharges où il faut une observation attentive pour découvrir une trace de sensibilité; dans d'autres, la sensibilité est telle que l'on peut comparer l'action d'un conducteur à l'action magnétique d'un électro-aimant puissant. Cet état sensitif ne semble pas appartenir en propre à un milieu gazeux particulier ou à une forme de tube spéciale, et il est très probable, en réalité, qu'avec des précautions convenables on peut produire des décharges sensibles dans presque tous les tubes. Cet état peut se manifester dans des décharges stratifiées, mais plus généralement il accompagne les décharges où l'on ne voit pas de traces bien nettes de stratification. Toutefois, il ne se présente pas constamment dans ce genre de décharges. »

MM. W. Spottiswoode et Moulton, dans le mémoire qu'ils ont adressé le 2 avril 1879, sur cette question, à la Société royale de Londres, ont examiné les causes qui produisent l'état sensitif et les lois qui le régissent. Nous renvoyons à l'ouvrage de M. Gordon, où cette question est traitée avec beaucoup de détail.

L'étude de la décharge sensitive a une grande im-

portance au point de vue de la théorie générale de l'électricité.

ÉTHER. — Fluide particulier dont on est amené à admettre l'existence pour expliquer d'une façon rationnelle et complète les phénomènes de la nature physique. Lamé, dans son ouvrage sur « la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides », dit que l'intervention de l'éther, sagement conduite, trouvera le secret ou la véritable cause des effets que l'on attribue au calorifique, à l'électricité, au magnétisme, à l'attraction universelle, à la cohésion, aux attractions chimiques.

ÉTINCELLE ÉLECTRIQUE. — L'étincelle électrique est le résultat de la combinaison des électricités à travers un milieu mauvais conducteur, qui est ordinairement l'air.

On produit généralement l'étincelle en approchant d'un conducteur électrisé un autre corps conducteur. Si l'on admet la théorie des deux fluides, on explique alors que l'étincelle est due à la combinaison de ces fluides. Si le corps que l'on approche communique avec le sol, son électricité neutre est décomposée par influence : le fluide de même nom est repoussé dans le sol, et le fluide de nom contraire est attiré.

Quand le corps qu'on approche du conducteur électrisé est isolé, l'étincelle ne part qu'à une faible distance, et le corps reste chargé d'électricité de même nom que celui du conducteur.

L'étincelle part à une distance d'autant plus grande que le corps isolé qu'on lui présente est plus volumineux, parce que le fluide repoussé, étant alors plus éloigné du conducteur électrisé, contrarie moins l'approche du fluide de ce dernier.

Quand le corps électrisé est mauvais conducteur, l'étincelle est très petite, parce que le fluide de ce corps ne peut se transporter que de points très voisins de celui qui est touché. Si le corps qu'on approche d'un conducteur électrisé est mauvais conducteur, la décomposition par influence ne peut s'y produire, et l'on n'obtient qu'une étincelle excessivement petite.

L'explosion qui accompagne l'étincelle s'explique par la commotion brusque qu'éprouve l'air pendant le conflit des deux fluides, commotion prouvée par diverses expériences. Kinnorsley, qui l'a le premier mise en évidence, a imaginé un petit appareil destiné à en apprécier jusqu'à un certain point l'intensité. Un gros tube, complètement fermé, communique par le bas avec un tube plus étroit, ouvert par le haut; on verse de l'eau dans la partie inférieure de l'appareil (fig. 4). Quand on fait jaillir l'étincelle entre les deux boules qui sont dans le gros tube, le liquide est brusquement soulevé par la secousse produite dans l'air et redescend aussitôt. Quand l'étincelle est forte, le liquide peut jaillir hors du tube. Le

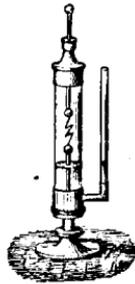


Fig. 1. — Thermomètre de Kinnorsley.

instrument, vient de ce qu'il fait voir que le passage de l'étincelle est accompagné d'une élévation de température.

L'étincelle se manifeste émise à travers les solides

et les liquides; on met ce fait en évidence de la manière suivante : Deux tiges isolées sont entourées de gomme laque dans les parties qui plongent dans un

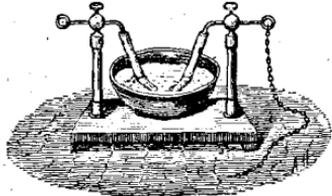


Fig. 2.

liquide mauvais conducteur, excepté aux extrémités (fig. 2). L'une est mise en communication avec le sol,

l'autre avec une forte MACHINE ÉLECTROSTATIQUE. Au moment où part l'étincelle, le liquide est projeté au loin, et quand le vase est rempli et complètement fermé il peut être brisé; le liquide éprouve donc, comme l'air, une violente commotion.

L'étincelle peut aussi, avons-nous dit, jaillir à travers les corps solides isolants; ces corps sont alors percés d'un trou, d'autant plus grand que les quantités de fluide qui se combinent sont plus considérables; mais, pour vaincre la résistance des solides, même quand ils sont en lames minces, il faut de très fortes charges électriques.

On n'a étudié la forme de l'étincelle que dans les gaz: cette forme dépend de la longueur. Dans l'air, l'étincelle est rectiligne quand elle est suffisamment courte. Quand la distance dépasse 0m,03 à 0m,06, l'éclat est tellement vif qu'on ne distingue plus de différences de teintes, et le trait lumineux commence à présenter des sinuosités. Quand la longueur est plus grande encore, l'étincelle est très irrégulière: tantôt c'est une courbe brillante très sinieuse, laissant



Fig. 3. — Étincelle ramifiée.

échapper de fines ramifications dans diverses directions (fig. 3); tantôt elle présente la forme d'un zigzag à angles aigus. Cette dernière forme, plus rare que l'autre, se manifeste particulièrement quand les charges sont très fortes. Il arrive aussi, parfois, que l'étincelle se divise en plusieurs branches, quand elle est très longue.



Fig. 4.

La forme irrégulière de l'étincelle est assez difficile à expliquer. On l'a attribuée à la résistance de l'air qui, refoulé brusquement par l'impétuosité du fluide, est comprimé dans le sens où il s'élançait, de manière à offrir plus de résistance, ce qui force l'électricité à changer de direction. On a aussi invoqué le défaut d'homogénéité de l'air et la présence de parcelles étrangères en suspension. Pour venir à l'appui de ces explications, on fait l'expérience suivante :

Un vase en verre de forme ovale, muni d'un robinet par lequel on peut extraire l'air, porte deux tiges métalliques, terminées dans l'intérieur par des boules, et dont l'une traverse une boîte à cuir qui permet de l'enfoncer plus ou moins (fig. 4). On fait

communiquer une des tiges avec une machine électrostatique et l'autre avec le sol, et l'on voit des étincelles sinieuses jaillir entre les deux boules. Si l'on raréfie un peu l'air, les étincelles sont moins sinieuses et peuvent s'élançer à une plus grande distance. Enfin, quand la pression n'est plus que de quelques millimètres, l'électricité passe d'une manière continue entre les deux boules, en formant un sphéroïde lumi-

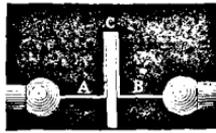


Fig. 5.

neux, connu sous le nom d'*œuf électrique* ou *œuf philosophique*, nom que l'on donne aussi à l'appareil. L'ovale lumineux est d'autant plus renflé que l'air est plus raréfié, et en même temps d'un éclat d'autant plus faible, surtout dans la partie moyenne, où il présente une teinte violette.

Quand entre deux conducteurs entre lesquels on fait parler l'étincelle il se trouve une lame isolante, l'étincelle ACB (fig. 5) la suit et peut jaillir à une plus grande distance. Elle peut aussi contourner une lame de verre et en franchir le bord, ou même en longer la surface.

En 1849, de La Rive avait réussi à démontrer, par une expérience frappante, que l'étincelle électrique produite dans les gaz raréfiés peut être assimilée à un

conducteur mobile et obéir, par suite, aux lois d'Amperé (action des aimants sur les courants). Parmi les appareils imaginés par ce savant, un des plus répandus est celui destiné à montrer la rotation de l'étincelle par un aimant (fig. 6). Un ballon de verre de forme ovoïde renferme, suivant son grand axe, un cylindre de fer C recouvert latéralement jusqu'à son extrémité d'une couche isolante très épaisse *v*. Un anneau de cuivre enloure le cylindre par-dessus la couche isolante à l'une de ses extrémités. C'est cette extrémité qui ferme la tubulure inférieure du ballon, par laquelle le cylindre de fer est introduit de telle sorte que la base nue soit en dehors et que l'anneau soit relié avec la douille en entrant mastiquée sur la tubulure. Une deuxième tubulure supérieure, plus petite, est munie d'un robinet servant à mettre le ballon en commu-

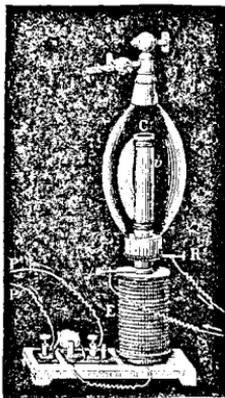


Fig. 6.

nication avec une machine pneumatique; elle sert aussi à introduire de petites quantités de liquides volatils tels que l'éther, etc. Quand on a fait un vide suffisant dans le ballon, on pose la base nue du cylindre sur un électro-aimant E, et l'on fait communiquer le cylindre et l'anneau avec les deux pôles d'une bobine d'induction. L'étincelle jaillit alors entre l'anneau et la base supérieure du cylindre en formant un ou plusieurs jets lumineux recourbés. Lorsqu'on aimante le fer en actionnant l'électro-aimant E par les fils P et P', ces jets tournent uniformément dans un sens qui dépend de celui de la décharge et de la position des pôles magnétiques.

Faraday a reconnu que l'étincelle électrique présente des couleurs différentes dans les divers gaz. Dans l'air, l'oxygène, l'acide chlorhydrique sec, l'étincelle est blanche avec une légère nuance bleuâtre, surtout dans l'air; dans l'azote, elle est bleue ou pourpre et fait entendre un son remarquable; dans l'hydrogène, le couleur est cramoisie et disparaît quand on raréfie ce gaz; dans l'acide carbonique, la couleur est verte et la forme très irrégulière; dans l'oxyde de carbone, elle est tantôt rouge, tantôt verte; dans le chlore, elle est verte. L'œuf électrique peut servir à ces sortes d'expériences; on y introduit successivement, après avoir fait le vide, les gaz qui n'attaquent pas les métaux. On peut aussi, d'un seul coup d'œil,

ÉTINCELLE ÉLECTRIQUE

comparer les couleurs de l'étincelle au moyen de l'appareil imaginé par M. Édouard Becquerel. Il se compose de trois tubes cylindriques *a*, *a'*, *a''*, fermés à la lampe après avoir été remplis de divers gaz (fig. 7). Chacun d'eux est muni de deux bouts de fil de platine traversant le verre auxquels ils sont scellés et dont les extrémités intérieures sont dans tous également espacées. Les fils de platine *c*, *c'* sont réunis deux à deux. Si l'on fait communiquer un des fils extrêmes *b* avec le sol et l'autre *d* avec une boule sur laquelle on fait jaillir des étincelles électriques, on voit en même temps de semblables étincelles se produire dans chaque tube, et l'on distingue leurs différentes couleurs. M. E. Becquerel a remarqué que la lumière est d'autant plus blanche que la densité propre du gaz est plus grande.

On trouve dans les cabinets de physique une foule

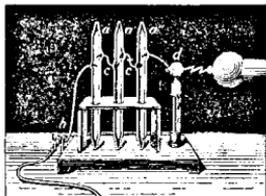


Fig. 7.

d'appareils disposés de manière à multiplier l'étincelle et à produire des effets variés. Le principe de tous ces appareils est le même: on colle, en séries, sur du verre, de petits morceaux de feuilles d'étain *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, laissant entre eux un petit espace (fig. 8). Si l'on fait communiquer l'extrémité *a* de la série avec une machine électro-statique et l'autre extrémité avec le sol, l'électricité positive de la machine, arrivée en *a*, décompose par influence le fluide neutre de *b*; l'électricité positive provenant de cette décomposition agit de même sur *c*, et ainsi de suite jusqu'au dernier morceau d'étain, dont le fluide positif passe dans le sol. Dès que la charge est assez forte en *a*, l'étincelle jaillit entre *a* et *b*. Elle se produit en même temps entre *b* et *c*, parce que, le fluide négatif de *b* étant détruit, son fluide positif se porte subitement vers *c* et y détermine une nouvelle décomposition de fluide neutre, et ainsi de suite de proche en proche. Ce mouvement se fait avec une telle rapidité, que les étincelles apparaissent au même instant dans tous les intervalles.

Au lieu de petites lames collées sur du verre, on emploie quelquefois des globules métalliques enfilés dans un brin de soie et séparés par des anneaux.

Quand les morceaux d'étain sont collés sur des tubes de verre, on a les tubes étincelants. Quand ils sont collés sur des lames de verre, on a les carreaux ou tableaux étincelants.



Fig. 8.

Tout ce qui vient d'être dit peut s'appliquer à l'étincelle d'induction.

EUDIOMÈTRE. — Instrument propre à l'analyse de l'air et de certains autres mélanges gazeux.

L'eudiomètre est une éprouvette de cristal à parois épaisses, dont l'extrémité fermée est traversée par une tige de fer terminée par deux boules. L'une extérieure, l'autre intérieure. Près de la boule intérieure est fixée une autre boule de fer, reliée à un fil métallique qui se prolonge jusqu'à l'extrémité ouverte de l'éprouvette (fig. 1). L'ouverture par laquelle on a fait passer la tige de fer est hermétiquement bouchée à l'aide d'un enduit. La partie du tube que nous avons supposée ouverte peut être aussi bien fermée par une garniture métallique munie d'un robinet et terminée par un entonnoir renversé; dans ce cas, le fil métallique intérieur doit communiquer avec la garniture. Le tube est exactement gradué en parties d'égalé capacité.

Le premier eudiomètre a été construit par Volta, qui, pour s'en servir, en bouchait simplement avec la main l'extrémité ouverte. Les eudiomètres employés dans les recherches de précision sont fermés par des garnitures.

L'eudiomètre est employé en chimie pour l'ana-

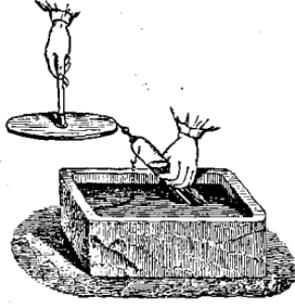


Fig. 1. — Eudiomètre ordinaire.

lyse des corps dont les composants gazeux peuvent se combiner sous l'excitation d'une étincelle électrique. Des volumes connus des deux gaz composants, mesurés sous une même pression et à la même température, étant introduits dans l'eudiomètre, préalablement rempli d'eau ou de mercure et renversé sur la cuve à eau ou à mercure, on approche de la boule qui termine l'appareil par le haut l'armature intérieure d'une bouteille de Leyde, tenue à la main; les deux armatures de cette bouteille, par l'intermédiaire de l'opérateur, du sol, du mercure de la cuve, de la garniture de l'eudiomètre et du fil métallique intérieur, ne sont plus séparées que par l'intervalle qui existe entre les deux boules intérieures. L'étincelle jaillit entre ces deux boules, si elles sont assez rapprochées, et la combinaison s'opère. A ce moment l'eudiomètre doit être bouché, sans quoi l'explosion pourrait faire jaillir le mercure hors de la cuve, ou chasser une partie du gaz en dehors de l'éprouvette.

Si le produit de la combinaison doit être liquide ou solide et que les gaz introduits se soient trouvés en proportion exactement convenable, il n'y aura aucun résidu, c'est-à-dire qu'en ouvrant le robinet on fera

jaillir le mercure dans l'éprouvette, qui s'en remplira entièrement; mais ce n'est pas le cas le plus ordinaire. Habituellement, on met de l'un des gaz un excès assez grand pour être sûr que l'autre sera absorbé en totalité. Alors, en retranchant de la somme des volumes introduits le volume restant et le volume du gaz totalement absorbé, on a le volume de l'autre gaz qui est entré dans la combinaison. Il faut, bien entendu, si l'on veut arriver à des résultats exacts, attendre que la température soit redevenue ce qu'elle était avant l'excitation de l'étincelle, et tenir compte, s'il y a lieu, des changements qui peuvent être survenus soit dans la température ambiante, soit dans la pression atmosphérique.

Si le produit de la combinaison doit être lui-même gazeux, en désignant par a le volume du gaz entièrement absorbé, par b celui de l'autre gaz, par x le volume de ce second gaz, qui se combine avec le volume a du premier, par y le volume du gaz produit par la combinaison et par r le volume trouvé dans l'eudiomètre après le passage de l'étincelle, on aura $r = y + b - x$. Il faudra donc pour connaître y et x , soit absorber l'un des gaz qui les occupent, soit essayer le mélange par un autre gaz dont la combinaison avec le gaz dont le volume est x soit bien connue.

Eudiomètre du docteur Ure. Cet eudiomètre consiste en un tube ayant la forme d'un U, à branches inégales, dont la plus grande A est fermée au sommet. Ce tube doit être en verre épais et résistant. Près du sommet de la plus longue branche, on a fixé deux tiges métalliques t, t' (ordinairement en laiton), terminées en dehors par des boules et à l'intérieur

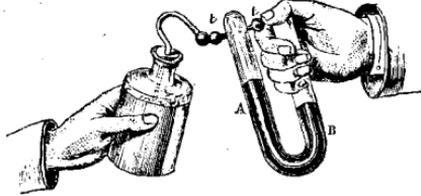


Fig. 2.

par des pointes qui sont en face et proches l'une de l'autre, mais sans se toucher (fig. 2.)

Pour faire usage du tube, on le remplit de mercure; puis on fait passer dans la grande branche le mélange gazeux sur lequel on veut opérer. Une partie du mercure est renfoncée; avec une pipette, on en retire de la petite branche. Puis on saisit cette branche, qui est ouverte, en appuyant fortement le pouce sur l'orifice, de manière que l'extrémité de ce doigt touche la boule métallique t' . On approche alors de l'autre boule la tige d'une bouteille de Leyde chargée, et l'étincelle se produit entre les points des deux tiges, à travers le mélange gazeux, qui passe, en totalité ou en partie, à l'état de combinaison. En ce moment, le gaz, fortement dilaté par l'étincelle, fait effort pour expulser le mercure; mais celui-ci est retenu par l'élasticité de l'air de la petite branche.

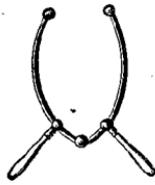
EUDIOMÉTRIE. — Art ou action d'analyser les mélanges gazeux à l'aide de l'eudiomètre.

EUDIOMÉTRIQUE. — Nom donné à un mode d'analyse spécialement appliqué aux gaz et pratiqué

au moyen de l'instrument particulier qui porte le nom d'**EUDIOMÈTRE**.

EXCITABILITÉ ÉLECTRIQUE. — Méd. Propriété des tissus et organes de répondre à l'action électroïque par une manifestation de leur fonction propre, ce qui constitue leur réaction. (R. *Vigoureux*.)

EXCITATEUR. — Instrument à l'aide duquel on soumet un objet à la puissante action d'une BATTERIE ou avec lequel on décharge une batterie électrique sans danger pour l'expérimentateur. Il se compose de deux tiges de cuivre mobiles autour d'une charnière terminées en boucle et munies de manches de verre.



En médecine on donne le nom d'*excitateur* aux instruments destinés à localiser la décharge dans l'électrisation statique ou FRANKLINISATION. Ainsi que nous l'avons expliqué au mot **ÉLECTRODE**, il n'y a pas lieu de distinguer les accessoires appelés « excitateurs » des électrodes proprement dites (V. **ÉLECTRODES**).

Excitateur bipolaire. — (V. **GALVANO-CAUTÈRE**.)

Excitateur Hubert. — (V. **GALVANO-CAUTÈRE**.)

EXCITATION. — Action de fournir le courant initial nécessaire au fonctionnement d'un appareil électrique.

Excitation d'une machine dynamo.

— Production du courant qui doit animer les électros de la machine. Ce courant est fourni tantôt par une **EXCITATRICE** séparée, tantôt par une excitatrice montée sur le même axe que la machine principale, ou par une partie du courant induit que l'on redresse à cet effet, et la machine est dite alors **AUTO-EXCITATRICE**.

Excitation de l'arc voltaïque. — Pour que l'arc voltaïque jaillisse entre deux **ÉLECTRODES** quelconques, il faut préalablement les amener au contact, de manière à assurer le passage du courant électrique, puis les séparer progressivement jusqu'à une distance maximum plus ou moins courte suivant la force **ÉLECTROMOTRICE** du courant dont on dispose. Cette nécessité du contact préalable des électrodes et de leur maintien à distance fixe constitue un inconvénient que l'on a cherché à éviter en interposant entre les deux électrodes la flamme d'une bougie ou bien en faisant passer entre leurs pointes les décharges d'une puissante batterie électro-statique ou mieux la série d'étincelles d'une bobine de Ruhmkorff. Dans ces conditions l'arc voltaïque s'agit par s'allumer; mais ces procédés sont d'une application peu pratique et ne réussissent que pour de très faibles longueurs d'arc. M. G. Maneuvrier a indiqué un procédé d'allumage fort simple et qui peut rendre des services aux électriciens qui veulent étudier les caractères physiques de l'arc voltaïque. « Il consiste à enfermer les deux électrodes, placées l'une en face de l'autre, dans un ballon de verre hermétiquement clos et muni d'une tubulure à robinet à trois voies, par où on peut à volonté enlever l'air intérieur ou introduire l'air extérieur. Les deux électrodes étant reliées par des fils de platine soudés dans le verre à une source de courants alternatifs, on renvoie l'air du ballon jusqu'à produire un **EFFLUVE** violet analogue à celui de l'**ÉUR ÉLECTRIQUE**. On tourne

alors le robinet de manière à laisser rentrer quelques bulles d'air; on voit alors le long et pâle effluve se ramasser brusquement entre les pointes, sous l'influence de ce brusque accroissement de pression et se transformer instantanément en un arc voltaïque d'un blanc éblouissant. Le degré de rarefaction auquel il faut amener l'atmosphère intérieure pour produire l'effluve dépend un peu de la distance des pointes et beaucoup plus de la force électromotrice de la source. L'allumage de l'arc par le procédé de M. Maneuvrier peut théoriquement se faire à toutes distances des électrodes, pourvu qu'on pousse assez loin la rarefaction et par suite la conductibilité électrique de l'atmosphère gazeuse interposée. Une fois l'allumage fait, on n'a plus qu'à fermer le ballon pour avoir un arc voltaïque en vase clos, à l'abri de l'air et de la combustion. Il possède une constance remarquable au point de vue de l'intensité et de la qualité de la lumière.

EXCITATRICE (Machine). — Nom donné à une machine distincte fournissant le courant envoyé dans les **ÉLECTRO-AIMANTS** d'une machine **DYNAMO-ÉLECTRIQUE** pour produire le **CHAMP MAGNÉTIQUE** de cette machine. Le type de l'excitatrice varie avec les circonstances, quelquefois elle fait corps avec la machine principale (machine auto-excitatrice de Gramme), d'autres fois elle est séparée et consiste en une machine dynamo-électrique de petite dimension.

EXPLORATEUR. — Nom donné à divers appareils.

Explorateur du champ magnétique.

— Appareil servant à déterminer la force d'attraction d'un aimant et à avoir la représentation graphique des lignes de force du champ magnétique. (V. **AIMANTS**.)

Explorateur de fil. — Appareil portatif servant à constater les effets d'induction des fils télégraphiques les uns sur les autres. Il se compose d'une embouchure de **TÉLÉPHONE** armée d'une membrane vibrante et d'un **AIMANT** en fer à cheval séparé que l'on dispose sur le fil en tenant la membrane au-dessus des pôles pour écouter les sons engendrés.

Explorateur-extracteur de M. Trouvé. — Cet appareil, qui sert à déceler et à extraire du corps humain des corps solides métalliques, se compose d'une **PILE**, d'une **sonde exploratrice**, d'un **appareil révélateur**, d'un **extracteur** et d'un système **ASTATIQUE** très sensible. On emploie la pile à renversement, système Trouvé. La sonde se compose d'une canne rigide ou souple à mandrin mouso, pour faire l'exploration préalable et faciliter l'introduction des stylets de l'appareil révélateur; elle est représentée *fig. 2*. L'appareil révélateur (*fig. 1*), semblable à une petite montre à double glace transparente, contient dans son intérieur un **ÉLECTRO-AIMANT** très petit avec un **trembleur** d'une construction spéciale lui permettant de résister à tous les chocs. A son extérieur, deux anneaux servent à fixer, à l'aide de deux petits mousquetons, les anémopores de la pile. Le stylet se compose de deux tiges d'acier très abutés, isolées entre elles, renfermées dans un tube et dont les extrémités dépassent ce tube de quelques millimètres. Ce stylet, en s'ajustant à frottement au révélateur qu'il complète, communique directement avec le circuit de la pile et du trembleur. Dans ces conditions il suffit qu'un corps métallique soit en contact avec les pointes pour faire fonctionner le trembleur. Le corps métallique peut être du plomb, du cuivre ou du fer. Dans le premier cas on reconnaît la nature du métal à la marche régulière du trembleur, malgré un mouvement oscillant imprimé à l'appareil, et à la résistance

que l'on éprouve à faire tourner sur lui-même l'appareil, dont les deux pointes s'enfoncent dans le métal qui est mou. S'il s'agit de cuivre ou de fer ces deux métaux déclent leur présence :

1° par la marche saccadée du trembleur; 2° par le glissement des pointes. Pour distinguer maintenant le cuivre du fer, on a recours à deux aiguilles aimantées formant un système astatique très léger suspendu à un fil de cocon et enfermé dans une éprouvette de verre (fig. 3, n° 1). Le système astatique ne pèse pas plus de 0gr,01; il est formé de deux aiguilles à coudre ordinaires très fines, aimantées en sens contraire et piquées dans un jonc léger. Ce sont les déviations de ce système qui indiquent que le métal rencontré par la sonde est du fer. Enfin le complément de l'explorateur qui vient d'être décrit est un électro-aimant genre Nickels (fig. 3, n° 2 et 3), à l'aide duquel on peut retirer, dans certains cas, les corps magnétiques dont la présence a été décelée par l'explorateur.

Quand il s'agit non plus de métaux, mais de bois, de pierre, etc., M. Trouvé, se fondant

sur leur mobilité dans l'organisme déduite de leur peu de densité et de ce qu'ils n'y pénètrent que par ricochets, se sert, pour les attaquer, d'une petite tarière à l'aide de laquelle, par un mouvement de rotation, il détache et ramène les parties emprisonnées dans le pas de vis. L'analyse le renseigne ensuite sur leur nature. Quand les projectiles sont durs ou difformes, on se sert d'une longue pince d'acier dont les branches sont isolées entre elles et qui, adaptée à l'explorateur, révèle au chirurgien le corps qu'il a saisi et permet d'en effectuer l'extraction. Les fig. 4 et 5 représentent ces deux accessoires.

Explorateur microtéléphonique de M. Chardin. — Cet appareil est destiné à rechercher à l'intérieur du corps humain soit des calculs, soit des corps étrangers qui y auraient pénétré.

Il se compose essentiellement d'un MICROPHONE réglable à pastilles de charbon, invisible sur la figure et monté dans une boîte cylindrique sur laquelle peuvent se fixer des sondes ordinaires de formes diverses. Ce microphone est actionné par un ÉLÉMENT de pile au bichromate de potasse à renversement. Un TÉLÉPHONE Bell est en relation avec la pile et le microphone par l'intermédiaire de cordons souples laissant à l'opérateur toute liberté de mouvement.

Supposons que l'on sonde la plaie produite par

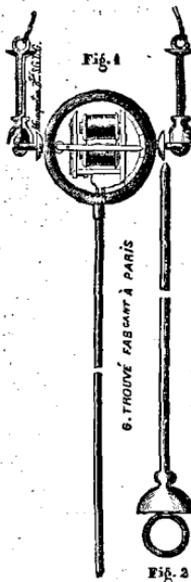


Fig. 1 et 2.
Appareil révélateur et Sonde exploratrice.

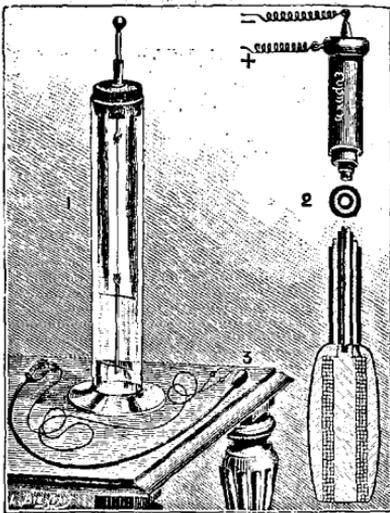


Fig. 3. — Aiguille aimantée exploratrice (1) et Electro-aimant extracteur (2 et 3).

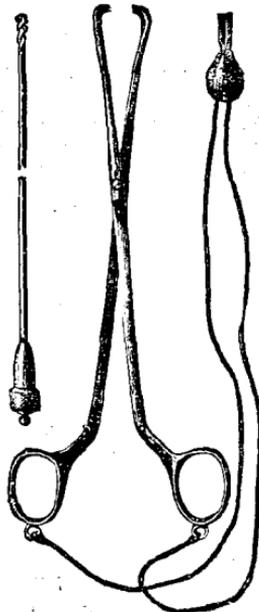
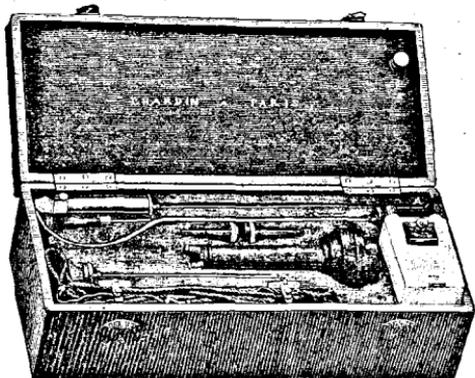


Fig. 4 et 5. — Tarière et Pince.

une arme à feu. Tant que l'extrémité de la sonde glissera dans les tissus sans rien rencontrer, on n'entendra dans le téléphone qu'un léger bruissement. Mais si l'on rencontre une esquille d'os ou le projec-

tile, le choc produit sur l'extrémité de la sonde se transmettra mécaniquement au microphone, et l'on entendra dans le téléphone un bruit sec. On peut en déduire avec exactitude la position du corps étranger.



Explorateur microtéléphonique de M. Chardin.

S'il y a simplement discontinuité des tissus, le bruit produit dans le téléphone n'a pas le même caractère.

Cet explorateur offre donc l'avantage de déceler la présence des corps étrangers, qu'ils soient ou non CONDUCTEURS de l'électricité.

EXPLOSEUR. — Machine fournissant l'électricité nécessaire pour la mise à feu des MINES.

Exploseur ou Coup de poing Bréguet. — L'exploseur Bréguet, représenté fig. 1, utilise le COURANT INDUIT provoqué par la séparation brusque et la re-

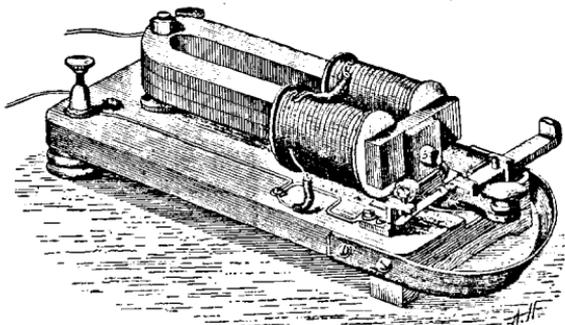


Fig. 1. — Exploseur Bréguet.

mise en place de l'armature d'un AIMANT puissant. Très portatif, n'exigeant aucun liquide, d'un maniement des plus simples, l'exploseur Bréguet présente seulement l'inconvénient de tous les appareils à ÉTINCELLES : il ne permet pas de vérifier par le passage d'un courant très faible la continuité et le bon établissement des CONDUCTEURS. On remarque un verrou

qui, étant poussé, empêche l'appareil de fonctionner et s'oppose à tout départ prématuré.

Pour se servir de l'appareil, on introduit les extrémités des deux fils conducteurs dans les bornes et on serre avec les vis pour bien assujettir les fils. Il n'y a aucune distinction à faire entre les deux fils.

On retire ensuite le verrou, et il suffit d'un coup

sec sur le tampon pour produire l'explosion. Il faut éviter de frapper avec trop de force sur le tampon et de prendre à la lettre l'expression de *coup de poing* dont on se sert pour désigner l'appareil. On s'exposerait ainsi à fausser l'axe autour duquel tourne l'armature de l'électro-aimant.

Exploseur magnéto-électrique de M. Deprez.

— M. Deprez, au lieu d'utiliser le courant directement engendré sur les bobines d'un électro-ai-

mant lorsqu'on l'arrache brusquement de son contact intime avec un aimant, lance le courant ainsi produit dans le fil conducteur d'une bobine de Ruhmkorff en se servant du fil induit pour produire l'étincelle. Son exploseur se compose, en conséquence, d'un AIMANT horizontal en fer à cheval (comme dans le modèle de l'exploseur Bréguet) dont l'ARMATURE de fer doux est liée à une équerre mobile autour d'un axe horizontal. Cette armature, qui est constituée par une lame de tôle douce, recourbée à ses extré-

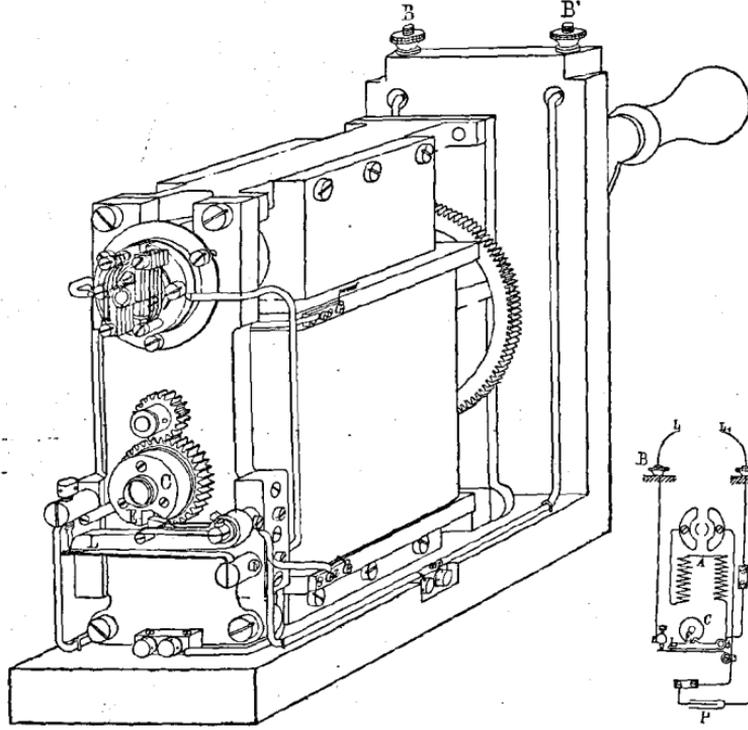


Fig. 2. — Vue perspective de l'Exploseur Siemens.

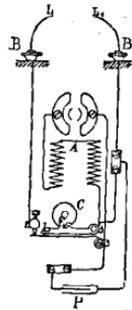


Fig. 3.

mités en face des pôles de l'aimant, de manière à s'appliquer très exactement sur ces pôles passés au lapidaire, est entourée d'un gros fil (de 2 millimètres de diamètre) relié par des fils électriques aux bornes de l'appareil. Ces bornes sont elles-mêmes mises en communication avec une bobine de Ruhmkorff de petit modèle. Cet instrument donne des étincelles de 8 à 10 millimètres de longueur. Pour faire fonctionner l'appareil, on donne un coup de poing sec sur une plaque portée à l'extrémité de la grande branche horizontale du levier dont la petite branche verticale porte l'armature de l'aimant.

Exploseurs Siemens. — MM. Siemens et Halske

construisent, pour déterminer l'explosion des mines, deux genres d'appareils appropriés à la nature des amorces employées. Ce sont de petites DYNAMOS renfermées dans des caisses en bois très solides et dont l'INDUIT est constitué par l'armature à double T bien connue de Siemens. (V. MACHINES.)

Les unes, à haute tension, donnent une étincelle courte et très chaude, pouvant faire détoner une amorce; les autres, dites « de quantité », font rougir, par le passage du courant continu qu'elles produisent, un fil de platine qui communique le feu à l'amorce.

La machine à haute tension, représentée fig. 2, est disposée de telle sorte que la manivelle qui sert à l'actionner fasse deux tours et l'armature quatre tours

avant que le levier L, pressé par la came C, puisse se relever et entrer dans l'encoche E. A ce moment le levier L, en se relevant, interromp le court-circuit qui permettait à la dynamo de s'amorcer, et le courant passe alors par les bornes B et B' au circuit extérieur dans lequel se trouve l'amorce à faire détériorer.

Le schéma (fig. 3) indique la disposition du circuit; on voit en P un petit PARATONNERRE à plaque de mica destinée à protéger l'appareil en cas de tension exagérée.

La machine dite « de quantité » a extérieurement la même forme que celle que nous venons de décrire; elle n'en diffère que par la suppression des rouages, de la came et du levier interrupteur, qui, dans le cas présent, sont inutiles. De plus, le fil qui garnit les électros et l'armature est beaucoup plus gros.

Exploseur-Vérificateur de quantité et de tension. — MM. Louis de Place et Bassée-Grosset ont imaginé un exposeur composé d'une PILE au CORDONNET, système Place-Germain (v. PILES SÈCHES), d'une BOBINE D'INDUCTION et d'un TÉLÉPHONE; le tout est renfermé dans une boîte de petit volume dont le couvercle intérieur porte trois boutons-commutateurs et deux bornes à ressort destinées à recevoir les fils du circuit extérieur. Le bouton-commutateur de droite est destiné à faire exploser les amorces de QUANTITÉ à fil de platine fonctionnant par courants continus, en lançant dans le circuit extérieur le courant de la pile; le bouton-commutateur de gauche est destiné à lancer du même coup et le courant de la pile dans l'INDUCTEUR de la bobine et le courant de l'INDUCTEUR de cette bobine dans le circuit extérieur. En enlevant le téléphone de son siège, on introduit automatiquement dans le circuit extérieur des résistances suffisantes pour qu'en appuyant sur le bouton-commutateur du milieu on puisse lancer un courant ne pouvant donner lieu à des explosions prématurées, mais permettant de vérifier les circuits au téléphone suivant la méthode appliquée récemment en France par M. Ducrelot (v. AMORCES ÉLECTRIQUES). L'exploseur Place-Bassée est portatif, peu encombrant, peu fragile, il peut donc remplacer avantageusement les exposeurs de quantité et les exposeurs de tension. (Extrait de la note de M. le général Perrier à l'Académie des Sciences — Décembre 1886.)

EXPOSITIONS D'ÉLECTRICITÉ. — Exposition internationale d'électricité de Paris. — La première exposition internationale d'électricité a eu lieu à Paris en 1881, sur la proposition de M. Ad. Cocher, ministre des Postes et Télégraphes, qui s'exprimait ainsi dans son rapport au Président de la République sur l'utilité de cette exposition :

« Des découvertes importantes et inattendues ont récemment appelé d'une façon particulière l'attention publique sur tout ce qui concerne l'électricité; en même temps, l'industrie, s'emparant de ces conquêtes de la science, a, depuis quelques années, multiplié leurs applications dans toutes les branches. Aujourd'hui aucune science ne semble devoir plus que la science électrique réaliser de rapides progrès, résoudre des problèmes intéressant la vie économique des nations, et rendre enfin à toutes nos relations d'inappréciables services. L'électricité est restée longtemps un agent capricieux, inconstant, difficile à maîtriser, impossible à utiliser. Avant Volta on constatait son action; on ne pouvait ni l'expliquer, ni la produire, ni, à plus forte raison, la mesurer.

« La découverte de la pile et les perfectionnements que celle-ci a bientôt reçus, les travaux d'Ampère et d'Arago sur les courants et leur action magnétique, les recherches de Faraday sur l'induction, ont ouvert

vert des voies nouvelles et fécondes dans lesquelles le progrès ne s'est plus arrêté. La pile et l'action magnétique des courants ont créé la télégraphie. Le développement de la télégraphie a dégagé les phénomènes électriques des obscurités qui les entouraient. C'est, en effet, sur les câbles sous-marins qu'il a été possible d'étudier et de découvrir les lois suivant lesquelles l'action électrique se développe et se propage.

« L'électricité est une force. A mesure qu'on a appris à la connaître, on l'a rencontrée partout, tantôt cause, tantôt effet, dans les phénomènes physiques, chimiques, mécaniques et organiques. On a aujourd'hui différents moyens de la produire. On la mesure et on l'applique aux usages les plus divers. Elle a cette propriété particulière que ses effets peuvent se transmettre par des conducteurs métalliques plus facilement et plus loin que ne peuvent le faire ceux de la vapeur par les intermédiaires mécaniques.

« Elle ne se borne plus à envoyer à distance des signaux télégraphiques; elle reproduit les sons et la parole elle-même. Elle contribue à la sécurité de l'exploitation des chemins de fer; l'agriculture et la marine lui doivent des indications météorologiques de plus en plus utiles; elle éclaire les rues, les places publiques, les magasins, les ateliers. Elle devient pour les arts et l'industrie un auxiliaire universel.

« Les savants et les industriels cherchent aujourd'hui, dans tous les pays du monde, à perfectionner les moyens de produire et d'utiliser la force nouvelle. Les résultats obtenus sont déjà considérables et nombreux, mais souvent encore insuffisants ou incomplets. Il y aurait grand intérêt à préciser l'état de la science électrique et de ses applications, à rapprocher et à comparer les procédés de recherches, afin d'imprimer aux efforts faits de toutes parts une direction qui les facilite et assure leur succès.

« Les expositions internationales et les congrès scientifiques qui les complètent si utilement ont permis de montrer les applications pratiques à côté de la théorie. C'est ce qui nous conduit à vous proposer de réunir un congrès international d'électriciens et d'autoriser simultanément une exposition d'électricité, qui sera pour ainsi dire, le laboratoire du congrès.

« Cette exposition comprendra tout ce qui concerne l'électricité: elle réunira les appareils de toute nature et de toute provenance servant à la faire naître, à la propager et à l'utiliser ».

L'Exposition internationale d'électricité, dont le but était ainsi clairement défini, a été ouverte au Palais de l'Industrie le 1^{er} août 1881 et a été close le 15 novembre suivant. Une commission nommée par décret du 26 novembre 1880 et placée sous la présidence du ministre des Postes et Télégraphes donna son avis sur les mesures relatives à l'organisation générale de l'exposition. Les fonds nécessaires à l'organisation et au fonctionnement de l'exposition étaient fournis par des subventions accordées par l'État et par une Association de garantie dont les membres souscripteurs s'étaient interdits tout partage de bénéfices après remboursement de leurs versements avec intérêts à 4 0/0.

Le Commissaire général était M. Berger, ancien Commissaire des sections étrangères à l'Exposition universelle internationale de 1878.

Les objets exposés étaient classés en 6 groupes comprenant en tout 16 classes, savoir :

Groupe I. — Production de l'électricité.

Classe 1. — Électricité statique.

Classe 2. — Piles et accessoires.

Classe 3. — Machines magnéto-électriques et dynamo-électriques.

Groupe II. — *Transmission de l'électricité.*

Classe 4. — Câbles, fils et accessoires; paratonnerres.

Groupe III. — *Électrométrie.*

Classe 5. — Appareils servant aux mesures électriques.

Groupe IV. — *Applications de l'électricité.*

Classe 6. — Télégraphie, signaux.

Classe 7. — Téléphonie, microphonie, photophonie.

Classe 8. — Lumière électrique.

Classe 9. — Moteurs électriques, transport des forces.

Classe 10. — Électricité médicale.

Classe 11. — Electro-chimie.

Classe 12. — Instruments de précision, électro-aimants et aimants, boussoles; horlogerie électrique.

Classe 13. — Appareils divers.

Groupe V. — *Mécanique générale.*

Classe 14. — Générateurs, moteurs à vapeur, à gaz et hydrauliques, et transmissions applicables aux industries électriques.

Groupe VI. — *Bibliographie, histoire.*

Classe 15. — Collections bibliographiques d'ouvrages concernant la science et l'industrie électriques, plans, cartes, etc., etc.

Classe 16. — Collections rétrospectives d'appareils concernant les études primitives et les applications les plus anciennes de l'électricité.

Pour la première fois le public fut à même de voir des éclairages par lampes à INCANDESCENCE, dont le type est la lampe Edison, appliquée d'abord en Amérique. On remarquait aussi des machines dynamo de différents systèmes et le principe de la distribution de la force à différents appareils, tels que des pompes, des machines à coudre, des scies, le tramway électrique de Siemens, etc. Le public avait été attiré aussi par les auditions téléphoniques. Des microphones avaient été installés à l'Opéra et sur différentes autres scènes, et on pouvait facilement entendre du Palais de l'Industrie les morceaux de musique et les paroles des acteurs. Les auditions théâtrales qui ont obtenu un grand succès de curiosité ont été depuis répétées dans toutes les expositions de ce genre.

À la suite de l'Exposition de 1881, qui a été très brillante, le jury a fait paraître une série de rapports qui constituent une collection des plus intéressantes à consulter par tous ceux qui s'intéressent aux questions d'électricité. Dans cette publication on trouvera le compte rendu des expériences faites par un comité spécialement constitué à cet effet. Ce comité qui s'est réuni plusieurs fois avait pris dès le début de l'Exposition les mesures nécessaires pour arriver le plus rapidement possible aux constatations mécaniques, électriques et photométriques qu'il importait de recueillir. Les déterminations mécaniques ont été faites plus particulièrement sous la direction de M. Tresca; les déterminations électriques, sous celle de MM. Joubert et Polier, et les déterminations photométriques, par les soins de MM. Allard et Le Blanc.

Exposition d'électricité de Londres. — A peine l'Exposition de Paris était-elle terminée qu'une

seconde exposition d'électricité fut installée à Londres, au Palais de Cristal de Sydenham. Elle suivait de trop près son aînée pour pouvoir espérer l'approcher; elle ne fut en effet que la répétition atténuée de celle de Paris. Le seul point intéressant qu'elle ait présenté est la disposition spéciale des différents foyers électriques installés de façon à permettre aux visiteurs d'apprécier leurs mérites propres.

Exposition d'électricité de Munich. — Le 16 septembre 1882 s'ouvrit une troisième exposition d'électricité, à Munich. Bien que faisant appel aux électriciens de tous les pays, elle était conçue dans un but local. Les organisateurs profitèrent de ce que Munich se trouve à portée de grandes chutes d'eau pouvant fournir une force d'environ 7.000 chevaux, susceptible d'être utilisée pour la production du courant. Ils voulaient se rendre compte de ce que peut faire ce merveilleux agent; leur but était aussi de se livrer à des expériences profitables à tout le monde. Ils créèrent donc une sorte de concours international sous le titre d'*Essais électro-techniques au Palais de Cristal de Munich*.

Les essais portèrent principalement sur les diverses questions à l'ordre du jour: transmission de force à grande distance, téléphonie sur de longues lignes, applications de la lumière électrique à l'éclairage des rues, des théâtres et des habitations. C'est là que furent faites par M. Marcel Deprez les expériences de transport de la force par l'électricité qui ont été le point de départ des expériences de Grenoble et de Creil. (V. TRANSPORT DE LA FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ.) L'Exposition de Munich dura un mois.

Exposition d'électricité de Penzance. — Dans le courant de la même année 1882, la petite ville de Penzance, située dans la Cornouaille, organisa une exposition industrielle et scientifique dans laquelle l'électricité joua un rôle important.

Exposition d'électricité de Vienne. — Vint ensuite l'Exposition internationale d'électricité de Vienne (Autriche), qui devait d'abord avoir lieu en 1882 et fut reculée d'une année afin de ne pas coïncider avec celle de Munich. Elle fut ouverte le 1^{er} août 1883 et close le 31 octobre 1883.

On pouvait se demander si, après les expositions d'électricité de Paris, de Sydenham, de Munich, celle de Vienne avait des chances de réussite.

Cette crainte était mal fondée; l'exposition eut un grand succès. Comme à Munich il n'y eut pas de jury. Une commission scientifique fit des essais électro-techniques et délivra des certificats sur les résultats obtenus.

Les objets exposés étaient classés de la façon suivante :

- Groupe I. Machines magnéto et dynamo-électriques.
- Groupe II. Piles et accessoires. Piles secondaires.
- Groupe III. Appareils scientifiques; appareils de mesures; appareils électro-statiques.
- Groupe IV. Télégraphie.
- Groupe V. Téléphonie.
- Groupe VI. Lumière électrique.
- Groupe VII. Moteurs électriques. Transport et distribution de la force.
- Groupe VIII. Câbles, fils et accessoires.
- Groupe IX. Applications de l'électricité à la chimie, à la métallurgie et à la galvanoplastie.

- Groupe X. Applications de l'électricité à l'art militaire.
- Groupe XI. Applications de l'électricité aux chemins de fer.
- Groupe XII. Applications de l'électricité à la navigation, aux mines et à l'agriculture.
- Groupe XIII. Applications de l'électricité à la médecine et à la chirurgie.
- Groupe XIV. Appareils enregistreurs; horlogerie électrique; application de l'électricité à la météorologie, à l'astronomie et à la géodésie.
- Groupe XV. Appareils et ustensiles divers.
- Groupe XVI. Applications de l'électricité aux usages domestiques, aux objets d'art et à l'ornementation.
- Groupe XVII. Mécanique générale: chaudières; machines à vapeur; moteurs hydrauliques.
- Groupe XVIII. Collections historiques et bibliographiques; ouvrages concernant l'enseignement de la science et l'industrie électriques.

Nous ne citerons que pour mémoire l'Exposition de Nice (France) en 1884, où l'électricité joua un rôle, pour arriver à l'Exposition de Philadelphie (septembre 1884).

Les objets qui y figuraient étaient classés en 7 sections principales, savoir :

- 1° Production d'électricité (6 classes).
- 2° Conducteurs électriques (7 classes).
- 3° Mesures (19 classes).
- 4° Applications de l'électricité (7 classes).
- 5° Physique terrestre (3 classes).
- 6° Appareils historiques.
- 7° Education et Bibliographie (2 classes).

On convoqua, à propos de cette exposition, un congrès international d'électriciens pour discuter les problèmes intéressant la science électrique, et faire des recherches et expériences.

Ce congrès fut en quelque sorte une continuation de celui de Paris et de la conférence de Vienne.

Il ne fut pas décerné de récompenses aux exposants; le jury d'examen prépara seulement un rapport détaillé, qui a été publié par l'Institut Franklin, organisateur de l'exposition.

L'Exposition de Turin, inaugurée en avril 1884, quoique remarquable, ne portait guère que sur des appareils déjà connus. Il convient cependant de signaler le traitement électrolytique des minerais de cuivre de la Société anonyme de Gênes et les générateurs ou transformateurs secondaires de Gaulard et Gibbs.

A signaler aussi l'Exposition d'électricité de Teplicez (Bohême), qui dura de juillet à septembre 1884.

Exposition de l'Observatoire à Paris. — La Société internationale des électriciens organisa à l'Observatoire de Paris, en mars 1885, une exposition spéciale d'électricité qui dura environ un mois et demi. Une force de 200 chevaux avait été mise à la disposition des divers inventeurs de systèmes d'éclairage.

EXPOSITION D'ANVERS. — Au mois de mai 1885

s'ouvrit l'Exposition universelle d'Anvers (Belgique). Cette exposition comprenait 5 grandes sections : Enseignement, Industrie, Marine, Électricité, Agriculture. Chaque section était divisée en groupes et en classes. La section d'Électricité contenait un assez grand nombre d'appareils, parmi lesquels nous citerons les systèmes téléphoniques de M. Van Risselberghe, qui permettaient d'entendre très distinctement à Anvers les concerts de l'Alhambra de Bruxelles. Les appareils d'audition étaient reliés par les fils télégraphiques ordinaires sans qu'il en résultât aucune interruption dans l'envoi des dépêches.

Exposition de Steyr. — Enfin le 2 août 1885, une autre exposition d'électricité s'ouvrait à Steyr (Autriche). Elle comprenait 4 sections : Machines dynamo et magnéto-électriques; Moteurs; Piles et Accumulateurs; Appareils scientifiques et de mesures électriques.

Exposition de Bruxelles. — La Société belge des ingénieurs et industriels a ouvert, le 9 janvier 1887, à Bruxelles une exposition de téléphonie. Cette exposition comprenait : les téléphones, microphones, radiophones, phonographes; les appareils se rapportant à leur application, tels que postes téléphoniques, bureaux centraux, cabines téléphoniques; les conducteurs et leurs modes d'installation; les outils spéciaux en usage dans les exploitations téléphoniques; en général tous les systèmes téléphoniques; anti-inducteurs, transmission par câbles de plusieurs conducteurs, communication à grande distance, téléphonie et télégraphie simultanée.

EXTRA-COURANT. — Nom sous lequel on désigne le courant induit direct qui se produit dans une bobine parcourue par un courant lorsqu'on interromp brusquement ce courant. En effet, au moment de la rupture le courant qui cesse dans le fil de la bobine joue le rôle de courant inducteur. L'extra-courant ainsi défini est l'extra-courant de rupture; on a démontré aussi que lors de la fermeture d'un circuit il se produisait un extra-courant de sens inverse et qui ne fait qu'affaiblir le courant primitif.

L'extra-courant est faible quand le fil est tendu en ligne droite; il se manifeste avec plus d'énergie quand le fil est enroulé en hélice, parce que le courant qui finit dans chaque spire agit comme un courant qui finit dans chaque spire voisines et qu'à la première induction s'ajoute l'induction des spires les unes sur les autres. Enfin quand dans l'intérieur de la bobine on a disposé un morceau de fer doux, le courant induit est encore plus puissant, parce que le fer doux en se désaimantant produit un courant d'induction de même sens qui s'ajoute au précédent. (V. INDUCTION.)

EXTRACTEUR de M. TROUVÉ. — Appareil médical qui permet de s'assurer que lors de l'extraction d'un projectile on a bien saisi ce projectile entre les mors de la pince, car alors on ferme le circuit d'une pile et d'une sonnerie et cette dernière se met à tinter. Le système est le même que celui appliqué à l'EXTRACTEUR ÉLECTRIQUE du même inventeur.

Fabroni (Jean-Valentin-Mathias), chimiste, naturaliste et ingénieur italien, né à Florence en 1752, mort en 1822. Il appartenait à une famille patricienne, originaire de Pistoia. Collaborateur et ami de Fontana, il lui succéda comme directeur du cabinet de physique du grand-duc, fut chargé d'importantes fonctions scientifiques par les divers gouvernements qui se succédèrent en Toscane au commencement de ce siècle, et nommé par Napoléon I^{er} directeur des travaux des Ponts et Chaussées pour les départements au delà des Alpes. C'est à lui qu'on doit la route du mont Genève et les premiers travaux de celle de la Corniche. Son génie, plus étendu que profond, s'était exercé dans presque toutes les sciences et souvent avec bonheur. On a de lui un grand nombre d'ouvrages et de mémoires sur la chimie, l'agriculture, la botanique, l'économie rurale, l'histoire naturelle, la physique, la physiologie, etc.

Dans la célèbre et longue discussion qui s'éleva entre Galvani et Volta sur les causes de l'électricité qui déterminait les contractions des grenouilles dépoignées, les Voltaïstes et les Galvanistes étaient si vivement engagés l'un contre l'autre, qu'il fallait, pour avoir quelque chance de se faire entendre, appartenir à l'un des deux camps. Toute théorie indépendante était repoussée. C'est ce qui arriva malheureusement aux idées émises dès 1782 par Fabroni, qui attaqua à la fois l'opinion des deux illustres savants, et attribuait aux actions chimiques la nature de ce qu'il appelle le *nouveau stimulus*. Dans un mémoire qu'il présenta à l'Académie de Florence en cette même année, on trouve le germe de la théorie chimique de la pile, à laquelle se sont ralliés presque tous les physiciens modernes. Fabroni fit plus tard, de souvenir, une analyse de ce travail qui parut à Paris dans le *Journal de physique*, 9^e série, t. VI, brumaire an VIII (1799).

FANAL ÉLECTRIQUE POUR NAVIRE. — Fanal

formé de deux optiques superposés de 0^m,20 de diamètre intérieur. Au foyer de chaque optique est placée une lampe à incandescence de 40 bougies environ. Ces lampes sont alimentées par des circuits différents de manière à réduire au minimum les chances d'extinction. Ce genre de fanal, qui convient aux navires pourvus d'une installation d'éclairage électrique, se place à la tête du mât; il est construit par la maison Sautter-Lemonnier de Paris.

Une machine dynamo spéciale alimente les lampes des feux de route et maintient toujours prête à fonctionner une batterie d'ACCUMULATEURS pouvant fournir l'électricité nécessaire à ces mêmes foyers pendant 8 à 10 heures. Un avertisseur d'extinction est placé dans le circuit de chaque lampe; il met en action une sonnerie, si, accidentellement, cette lampe vient à cesser de fonctionner.

FANFARE D'ADER. — Appareil construit et exposé par M. Ader à l'Exposition d'électricité de Paris en 1881, à l'aide duquel un petit air de chasse chanté à mi-voix dans un transmetteur à contact de platine (système Reiss), se trouve tellement amplifié qu'on croirait entendre un cor de chasse. Le système microphonique qui permet d'arriver à ce résultat se compose d'un électro-aimant en fer à cheval, muni à ses extrémités polaires de lames plates de fer doux placées en regard l'une de l'autre et portant des bobines plates n'atteignant pas les extrémités de ces lames, et séparées par un intervalle de 0^m,002. Devant ces lames de fer doux se trouve une armature très légère, supportée par un taquet de bois collé à une petite planchette mince en sapin qui constitue le diaphragme vibrant; devant cette planchette est appliquée une boîte de résonance munie d'un cornet de cuivre formant trompette. Quand le courant passe dans l'appareil qui vient d'être décrit, il se produit entre les deux parties du système magnétique un choc, et les chocs multipliés donnent des

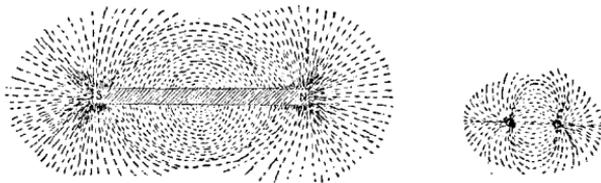


Fig. 1 et 2. — Fantômes magnétiques.

sons de cor. On a essayé d'appliquer ce système à la reproduction de la parole, mais on n'a pu arriver à des résultats satisfaisants.

FANTÔME MAGNÉTIQUE. — Figure obtenue en

projetant de la limaille de fer sur une feuille de papier disposée dans le CHAMP MAGNÉTIQUE d'un aimant (fig. 1 et 2) et indiquant la position des LIGNES DE FORCE de ce champ magnétique. (V. AIMANT.)

M. Decharme qui a publié de beaux travaux sur

cette question, fait remarquer que les fantômes magnétiques peuvent servir à reconnaître la position des pôles d'un aimant naturel ou artificiel de forme quelconque, à constater l'existence et la situation des points conséquents, à étudier la distribution transversale ou longitudinale plus ou moins régulière du magnétisme sur un aimant, à connaître la forme et l'étendue du champ magnétique, à tracer les figures ÉQUIPOTENTIELLES, et enfin à mesurer les intensités relatives de deux aimants, avec une certaine approximation.

« Prenons, dit M. Doeharme, deux aimants droits placés dans le prolongement l'un de l'autre, à la distance la plus convenable pour la manifestation des courbes magnétiques intermédiaires. Les deux aimants, posés sur un carton blanc, ont en regard, soit leurs pôles de même nom, soit ceux de noms contraires. On sème de la limaille fine, spécialement dans l'intervalle des deux barreaux; on donne de légers coups sur le carton et, quand les lignes de force sont bien développées et stables, on mesure les distances de la ligne neutre, à chacune des extrémités des aimants en présence. Soient d et d' ces distances. En y ajoutant les distances a et a' de chacune de ces extrémités au pôle correspondant, on obtient les distances ($D = d + a$) et ($D' = d' + a'$) de la ligne neutre à chacun des pôles. »

« Si I et I' sont les intensités magnétiques des deux barreaux comparés, on a la relation :

$$\frac{I}{I'} = \frac{D^3}{D'^3} \quad \text{d'où} : \quad I = I' \frac{D^3}{D'^3}$$

« Si on a mesuré I' une fois pour toutes, par un des moyens directs connus et si on l'a évalué en unités magnétiques pratiques, la valeur absolue de I sera aussitôt déterminée de la même manière. »

M. Doeharme a fait des expériences à ce sujet (v. la *Lumière Électrique*, n° 32, tome XX), dont les résultats prouvent que si le procédé n'est pas d'une exactitude rigoureuse il donne néanmoins une approximation suffisante dans beaucoup de cas. Il est d'ailleurs fort simple.

FARAD. — Unité de capacité. C'est la CAPACITÉ d'un corps qui, porté au POTENTIEL de 1 VOLT, emmagasinerait 1 COULOMB. En pratique on se sert du microfarad qui vaut un millionième de farad, le farad étant trop grand. (V. UNITÉS ÉLECTRIQUES.)

Faraday (Michaël), chimiste et physicien illustre, membre de la Société royale de Londres et l'un des huit associés étrangers de l'Académie des Sciences de Paris, né à Newington-Bulls, près de Londres, le 22 septembre 1791, mort à Hampton-Court le 25 août 1867. Fils d'un pauvre forgeron, il a tout dû à son courage, à sa persévérance et à son génie. Dès l'âge de treize ans, n'ayant encore reçu que l'instruction la plus élémentaire, il fut placé comme apprenti chez un relieur de Blandford-street. Les *Conversations sur la chimie*, petit traité populaire dû à la femme d'un habile médecin et chimiste, M. Marut, lui ouvrirent la route de la science. Faraday attribua toujours son goût pour la chimie et la physique au soin qu'il avait pris de constater par des expériences, telles qu'il pouvait les faire alors, les assertions du livre de celle qu'il nommait sa première institutrice. Après huit ans passés à peu près dans la même situation, Faraday eut le bonheur d'être admis, sur la recommandation d'un des membres de l'Institution royale, à suivre les leçons que Davy donnait dans cet établissement; il envoya ses rédactions à Davy

en le priant de l'aider à sortir de sa position. Davy le fit aussitôt nommer aide préparateur (1813), et, admis par faveur spéciale de l'empereur à parcourir la France et l'Italie, il emmena avec lui son aide de laboratoire. Faraday se fit dans ce voyage les amis les plus dévoués à Paris, à Genève et à Montpellier. Il venait de faire un grand pas à la physique en liquéfiant l'acide carbonique et le protoxyde d'azote; il a fait subir depuis la même transformation au chlore et à un grand nombre d'autres gaz.

Les belles recherches de Faraday sur l'ÉLECTRICITÉ et le MAGNÉTISME datent de 1821. C'est à cette époque que, renversant l'expérience d'Ørsted, il constata l'action exercée par un aimant fixe sur un courant mobile et entreprit dès lors, concurremment avec Ampère, les beaux travaux qui ont constitué la théorie de l'ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

La théorie de la PILE de Volta et de ses dérivés était encore remplie d'obscurités; l'hypothèse du premier inventeur sur les effets électro-dynamiques du contact entre les métaux hétérogènes et la théorie plus scientifique des excitations électriques dues aux réactions chimiques, avaient encore à cette époque des partisans à peu près aussi nombreux et aussi considérables. Faraday trancha le différend par une découverte capitale, qui a eu les conséquences les plus étendues, en permettant de soumettre l'électricité à des mesures précises. Armé d'un VOLTMÈTRE de son invention, au lieu de s'abandonner aux idées métaphysiques, il se posa ce problème : mesurer la quantité d'électricité qui a servi à opérer une décomposition chimique donnée, et comparer entre elles les quantités d'électricité dépensées dans diverses décompositions successives. Ses recherches furent couronnées du plus heureux succès; elles le conduisirent à la découverte d'une loi, qui a pris le nom de *principe de Faraday*, comme on a dit : principe d'Archimède, principe de Galilée et principe de d'Alembert. Cette belle loi consiste en ce que c'est toujours la même quantité d'électricité qui se consomme dans la décomposition des équivalents chimiques des différents corps. Les équivalents chimiques correspondent à des équivalents électriques, ou, si l'on veut adopter le langage fondé sur la théorie atomique, toutes les molécules de même ordre ont besoin, quels que soient leur nature, leur forme, leur poids et leurs qualités spécifiques, qu'on emploie la même force pour les unir chimiquement deux à deux ou pour les dissoudre. La quantité d'électricité mise en mouvement par une molécule de zinc brûlée dans la pile est égale à celle qu'exigerait la division en ses éléments de toute molécule d'un composé binaire.

Arago venait de découvrir le magnétisme de rotation. Cette belle découverte frappa beaucoup Faraday; elle le conduisit peu après, en 1832, à la découverte des phénomènes d'INDUCITION produits dans un circuit métallique par un courant, par un aimant ou par la terre. « Pour comprendre, dit M. Dumas, toute l'importance pratique de la découverte de Faraday, considérée comme source d'une nouvelle manifestation des phénomènes électriques, il suffit de rappeler que c'est elle qui a donné naissance aux MACHINES de Pixii, de Clarke et de Ruhmkorff, dont les ÉTRICIELLES sont capables de percer des masses de verre de 0m,40 d'épaisseur. »

Faraday émit alors une théorie nouvelle de l'électrisation par influence, qui paraît mieux que l'ancienne s'accorder avec les faits. Il rejette complètement l'idée de l'action à distance du corps influencé sur le corps influençant, et suppose que la transmission se fait par l'intermédiaire de l'air ou même de l'éther.

Les deux dernières découvertes de Faraday sont

celle de l'action exercée par l'aimant sur la lumière polarisée, et celle du DIAMAGNÉTISME. Elles datent de 1845.

« Si l'on fait passer, écrivait-il à l'Académie des Sciences, un rayon lumineux polarisé à travers une substance transparente, et que celle-ci soit placée dans le champ magnétique, la ligne de force magnétique étant disposée parallèlement au rayon lumineux, celui-ci éprouvera une rotation. Si l'on reverse le sens du courant magnétique, le sens de la rotation du rayon lumineux sera également renversé. »

Cette découverte, si considérable, devait le conduire à mettre en évidence l'une des propriétés les plus générales de la matière. On savait déjà que le bismuth éprouve, de la part de l'aimant, un effet contraire à celui qu'éprouve le fer. Faraday fit voir que les deux manières d'agir de l'aimant sont des cas particuliers d'une loi générale. Le fer, le nickel, le cobalt, le manganèse et la platine sont attirés par l'aimant, d'autres sont repoussés, et, s'ils étaient assez sensibles à cette répulsion, on pourrait en construire des boussoles qui se dirigeraient de l'est à l'ouest. Les gaz mêmes sont impressionnés par l'aimant; l'oxygène est attiré, l'hydrogène et l'eau sont repoussés; il en est de même des tissus végétaux et animaux. Faraday admit que des pôles d'un aimant part un faisceau de rayons magnétiques que les corps attirés rendraient convergents, et dont les autres tendraient à augmenter la divergence.

« Faraday, dit M. Dumas, était de taille moyenne, vif, gal, l'œil alerte, le mouvement prompt et sûr, d'une adresse incomparable dans l'art d'expérimenter. Exact, précis, tout à ses devoirs, lorsqu'il préparait dans sa jeunesse les leçons de Davy, on admirait avec quelle précision chaque expérience répondait à la pensée, à la parole du maître. Il vivait dans son laboratoire, au milieu de ses instruments de recherche. Il s'y rendait le matin et en sortait le soir, aussi exact qu'un négociant qui passe la journée dans ses bureaux. La simplicité de son cœur, sa candeur, son amour ardent de la vérité, sa franche sympathie pour tous les succès, son admiration naïve pour les découvertes d'autrui, sa modestie naturelle dès qu'il s'agissait des siennes, tout cet ensemble donnait à sa physionomie un charme incomparable. »

Sir Robert Peel avait songé à lui offrir une pension; lord Melbourne, voulant réaliser ce projet, alla le voir. Faraday hésitait; un geste d'impatience échappé à l'illustre visiteur trancha la question pour Faraday: il refusa. Le ministre se retira; mais, mieux informé de ce que peut être la dignité d'un savant, il chargea un intermédiaire de prier l'illustre physicien de revenir sur sa détermination: « Et comment le pourrais-je? » répondit Faraday, il faudrait que le ministre m'écrivît une lettre d'excuses. Ai-je le droit ou même la pensée d'exiger de lui rien de pareil? » Mais les excuses arrivèrent. Faraday accepta, en 1836, une pension annuelle de 300 livres sterling, et la reine lui donna, en 1853, une résidence à Hampton-Court.

Les nombreux écrits de Faraday ont successivement paru, depuis 1831, dans les *Transactions philosophiques*, sous le titre de: *Recherches expérimentales sur l'électricité*; ils ont été réunis depuis et forment 3 volumes in-8° (Londres, 1839, 1844 et 1855).

Sa biographie a été publiée en anglais, par M. J. Tyndall, son ami et son élève, sous ce titre: *Faraday inventeur*. M. Moigno a donné, dans ses *Mondes*, une traduction de cette intéressante étude.

FARADISATION. — Une des trois principales méthodes d'électrisation qui consiste dans l'emploi du courant induit ou faradique. Elle est l'œuvre de Du-

chenne de Boulogne, le fondateur de l'ÉLECTROTHÉRAPIE moderne. Duchenne s'était d'abord servi du courant galvanique et avait donné à sa méthode le nom de *galvanisation localisée* (1817-1850). Mais il ne tarda pas à mettre de côté le GALVANISME contre lequel il conserva même une aversion peu concevable. Dans son premier grand ouvrage, *De l'Électrisation localisée* (1855), le moyen exclusif de recherche et de traitement est le courant faradique.

Le mode d'application est exactement le même que pour la GALVANISATION, à propos de laquelle il est plus rationnel de le décrire. Nous rappellerons seulement quelques particularités. Dans les appareils volta-faradiques on n'emploie guère plus que le courant de la bobine induite (v. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, *appareils*). Le courant de fermeture est négligeable, et les effets doivent être rapportés au courant d'ouverture. La direction de celui-ci détermine les pôles, et les effets doivent être rapportés au courant d'ouverture. La direction de celui-ci détermine les pôles.

Les effets diffèrent suivant la longueur et le diamètre du fil induit. On emploie de préférence les bobines à fil long et fin lorsqu'on veut agir sur les nerfs de la peau. Un fil plus gros et plus court convient mieux pour atteindre les organes profonds, par exemple exciter les nerfs moteurs. Ces différences sont dues à ce que l'on appelait autrefois effets de *tension* et effets de *quantité*. Du reste, ainsi que l'a démontré Helmholtz, le courant faradique est bien moins apte que le galvanique à porter une excitation dans la profondeur des tissus.

Outre les électrodes humides qui lui sont communes avec la galvanisation, la faradisation emploie les électrodes métalliques sèches. Les plus usuelles sont en forme de boule et plus souvent en forme de pinceau ou balai, faisceau de fils de métal que l'on promène sur la peau (*faradisation cutanée*). L'action est plus vive quand le contact se fait par un plus petit nombre de brins. C'est la bobine à fil fin que l'on préfère pour cette application. Une série de petites ÉTRÉCELLES éclatent entre l'électrode et la peau, qu'elles rouissent et irritent fortement.

Un autre procédé de faradisation cutanée est la *man électrique*: une large électrode humide est placée sur une région peu excitable du corps du malade, l'autre est tenue par l'opérateur, qui passe le dos de sa main sur la partie (préablement desséchée s'il y a lieu) de la peau à faradiser.

Faradisation localisée proprement dite. — (V. POINTS MOTEURS, RÉACTIONS, THÉRAPEUTIQUE.)

Faradisation générale. — Procédé préconisé par Beard et Rootwell, de New-York. Une très large électrode est placée sous les pieds ou sous le siège du malade, ou bien ces parties sont plongées dans un bain partiel qui reçoit une électrode. L'autre est proménée sur toute la surface du corps. Il y aurait avantage à se servir de l'électrode à rouleau. Un autre procédé de faradisation générale serait le BAIN HYDRO-ÉLECTRIQUE.

Le courant faradique ne produisant pas d'effets chimiques sensibles est d'un emploi très sûr pour les cavités de l'utérus et de la vessie.

Ce qui précède se rapporte surtout aux appareils volta-faradiques. Si on voulait faire usage d'appareils magnéto-faradiques, il faudrait se rappeler que, pour ceux-ci, les courants d'ouverture et de fermeture sont égaux et de sens contraire, et surtout que les effets chimiques ne sont pas négligeables.

Galvano-faradisation. — M. de Walleville, de Londres, a désigné sous ce nom l'emploi simultané de la pile et de l'appareil d'induction. Un

commutateur spécial (v. TABLE D'ÉLECTROTHERAPIE) reçoit les deux courants et les envoie dans le circuit où ils se renforcent mutuellement.

Réglage et dosage du courant faradique. — On a vu (ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, *appareils*) comment la force du courant peut être modifiée à volonté, soit par l'interposition d'un rhéostat à liquide, soit par le glissement du tube de cuivre entourant le noyau, soit mieux encore par l'écarterement des bobines pour les appareils volta-faradiques et pour les magnétiques par la distance de l'aimant, etc.

Quant à la mesure en unités absolues, il n'existe pas de moyen pratique de l'exécuter. Le même reproche d'évaluation purement empirique peut donc s'adresser à la faradisation aussi bien qu'à la franklinisation. Il est curieux et fâcheux que les deux méthodes, thérapeutiquement les plus efficaces, soient physiquement les moins rigoureuses.

Favre (Pierre-Antoine), chimiste français, né à Lyon le 20 février 1813, mort à Marseille le 17 février 1889. Élève de Péligot, il fut d'abord attaché au laboratoire d'Andral; puis, après quelques travaux de chimie minérale analytique, il poursuivit des recherches de chimie physiologique avec le concours du Dr Jecker. Entré au Conservatoire des Arts et Métiers, en qualité de préparateur de Péligot, il se lia avec Silbermann, préparateur de Pouillet; ils s'occupèrent alors ensemble de déterminer les quantités de chaleur développées par la combustion des corps simples ou composés. Ils purent donner bientôt des chiffres exacts représentant le nombre des calories dégagées ou absorbées dans les combinaisons, les décompositions et les changements d'état des corps. Favre et Silbermann sont surtout connus par leur calorimètre à mercure, qui se compose essentiellement d'un gros réservoir sphérique en fonte pouvant contenir jusqu'à 260 kilogrammes de mercure; deux ou plusieurs moules métalliques se prolongent à l'intérieur de cette sphère et sont destinés à contenir les corps dont on veut mesurer les calories et par suite la capacité calorifique; un robinet placé à la partie supérieure de la sphère fait communiquer le mercure avec un tube capillaire gradué d'avance en calories et fractions de calories; pour protéger la sphère elle-même contre les variations de la température extérieure, on l'enferme dans une caisse de bois garnie de duvet. C'est à l'aide de cet instrument aussi simple qu'ingénieux et donnant des indications fort exactes, que Favre et Silbermann ont pu établir la différence entre la chaleur chimique de la pile et la chaleur voltaïque.

Après avoir rempli les fonctions de professeur agrégé près la Faculté de médecine de Paris, Favre fut professeur de chimie à la Faculté des sciences de Marseille, puis doyen de la même Faculté et professeur à l'École de médecine. L'Académie des Sciences lui décerna le prix Jecker, puis le prix Lacaze, et le nomma enfin membre correspondant.

Fechner (Gustave-Théodore), littérateur, philosophe, poète, physicien et chimiste allemand, né le 19 avril 1801, dans un petit village situé près de Muskau, où son père était pasteur, dans la Silésie prussienne. Après de brillantes études, commencées au gymnase de Sorau et terminées à celui de Dresde, il alla étudier la médecine à Leipzig, s'appliquant surtout aux sciences accessoires, la physique et la chimie, d'où il s'efforça de tirer des ressources nouvelles pour la thérapeutique. En 1833, il fut nommé à la chaire de physique de l'université de Leipzig; mais sa santé le força d'abandonner un poste qui imposait la pra-

tique de nombreuses manipulations et expériences, et il obtint alors, dans la même ville, la chaire de philosophie naturelle et d'anthropologie.

Fechner n'a fait aucune découverte importante; mais il s'est rendu célèbre dans son pays, et il se recommanda à notre sympathie par les heureux efforts qu'il a tentés pour répandre parmi ses compatriotes les méthodes et les livres de l'enseignement français. C'est dans ce but qu'il a traduit et annoté en allemand le *Traité de physique* de Biot et la *Chimie* de Thenard.

Outre d'assez nombreux ouvrages philosophiques, Fechner a publié, à Leipzig: *Preuves que la lune est composée d'iode* (1821); *Panegyrique des sciences médicales et naturelles de notre époque* (1822); *Recherches sur la pile galvanique* (1831); *Répertoire de physique expérimentale* (1832); *Répertoire des nouvelles découvertes dans la chimie inorganique* (1833); *Répertoire des nouvelles découvertes dans la chimie organique* (1834); *Doctrines physiques et philosophiques des atomes* (1864, 2^e édit.). On lui doit encore un grand nombre de mémoires et d'articles scientifiques, qui ont paru dans les *Annales de Poggendorf* et dans le *Journal central de Pharmacie*.

FER A SOUDER ÉLECTRIQUE. — Instrument imaginé par M. Ball, du Philadelphie, pour souder toute espèce de métaux. Il ressemble au *CATERRE* électrique employé en chirurgie, et se compose en effet de deux tiges de cuivre au bout desquelles se trouve une sorte de coin de platine d'une *RÉSISTANCE* électrique suffisante pour s'échauffer lorsqu'on fait passer un *COURANT*. Ces tiges sont renfermées toutes deux dans un manche de bois; l'une d'elles présente une solution de continuité qui peut être fermée à l'aide d'un bouchon métallique, commandé par un ressort et une vis placée sur le côté du manche.

FER DOUX. — Fer qui n'est doué d'aucune force coercitive, c'est-à-dire qui s'aimante instantanément sous l'action d'un *COURANT* ou d'un *AIMANT*, et ne garde plus aucune trace d'électricité dès que cette action a cessé.

On n'est pas fixé sur les conditions que le fer doit remplir pour être doux. Son degré de pureté, sa constitution moléculaire ne paraissent pas avoir d'influence définie sur ses propriétés magnétiques. On sait seulement que pour obtenir du fer doux il faut le porter plusieurs fois au rouge et le laisser refroidir lentement après chaque chauffe.

FERRER UN CIRCUIT. — Établir une communication conductrice continue entre ses deux extrémités.

FERRAGE DES CHEVAUX PAR L'ÉLECTRICITÉ. — M. le capitaine Placo a imaginé en 1836 un système pour le ferrage des chevaux méchants ou rétifs. Ce système consiste dans l'emploi de secousses électriques. L'appareil comprend une *PILE SÈCHE* et une *BOBINE D'INDUCTION*, dont deux *RÉSONNANCES* terminent le circuit; la violence de la secousse est réglée par un gradateur. Les chevaux les plus méchants sont rapidement calmés.

FERRO-MAGNÉTIQUE (Corps). — Nom donné aux corps qui sont attirés par l'aimant. On appelle aussi ces corps *PARAMAGNÉTIQUES*.

FEU SAINT-ELME ou *Feu Saint-Nicolas.* — Nom donné aux aigrettes lumineuses qui se produisent parfois à l'extrémité des mâts des navires lorsque le temps est orageux.

Ce phénomène a été l'objet de très nombreuses observations; ainsi on trouve dans l'histoire de Christophe Colomb, écrite par son fils, le récit suivant : « Dans la nuit du samedi (octobre 1493) il tonnait et pleuvait très fortement. *Saint Elme* se montra alors sur le mât de perroquet avec sept cierges allumés, c'est-à-dire qu'on aperçut ces feux que les matelots croient être le corps du saint. Aussitôt on entendit chanter sur le bâtiment force litanies et oraisons, car les gens de mer tiennent pour certain que le danger de la tempête est passé, dès que *saint Elme* parait. »

FICHE DE COMMUTATEUR ou de RHÉOSTAT. — Nom sous lequel on désigne les bouchons métalliques qui servent à réunir les pièces conductrices de différentes formes qui font partie d'un circuit.

FIGURES DE LICHTENBERG. — Nom donné à une expérience qui montre que les deux ARMURES d'une BOUTEILLE DE LEYDE sont chargées d'électricité de noms contraires. Sur un gâteau de résine on promène le bouton de la bouteille chargée de façon à y tracer une figure; on pose ensuite la bouteille sur un corps iso-



lant, on la saisit par le bouton, et avec l'armure extérieure on trace sur le même gâteau de résine une figure différente de la première. Si on projette à l'aide d'un soufflet sur le gâteau de résine un mélange de soufre en poudre et de minium, ces poudres en frottant l'une contre l'autre électrisent, le soufre s'étant chargé d'électricité négative se rend sur les points touchés par le bouton de la bouteille et reproduit en jaune la figure tracée avec ce bouton, tandis que le minium qui s'est chargé d'électricité positive dessine en rouge la figure tracée avec l'armure extérieure.

FIGURES MAGNÉTIQUES. — M. de Haldat a donné le nom de figures magnétiques à des effets magnétiques ayant une grande analogie avec les FANTÔMES MAGNÉTIQUES. On obtient les figures magnétiques en promenant sur une plaque d'acier les figures magnétiques et en projetant ensuite sur cette plaque de la limaille de fer qui reste adhérente aux points touchés par l'aimant. On peut produire aussi ces figures par influence à distance à travers une lame de métal (autre que le fer), une feuille de carton ou une plaque de bois. Elles sont persistantes pendant plusieurs mois; pour les effacer il faut chauffer la plaque ou la marteler.

FIL TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE. — Fil métallique reliant les postes télégraphiques ou téléphoniques en correspondance. Ce fil peut être supporté par des poteaux, et constitue alors une ligne aérienne, ou bien il est recouvert d'une enveloppe isolante et enterré dans le sol; il constitue alors une

ligne souterraine. Enfin les CABLES SOUS-MARINS sont formés par la réunion de plusieurs fils convenablement isolés (v. CONDUCTEURS, LIGNES et CABLES). Les fils pour lignes aériennes sont de diamètre différent suivant l'importance et l'usage de la ligne; ils sont en fer nu ou galvanisé, c'est-à-dire recouvert de zinc; ou acier; en bronze phosphoreux, silicieux ou chromé; on fait aussi des fils COMPOUND, à âme d'acier et à enveloppe plus ou moins épaisse de cuivre déposée par la GALVANOPLASTIE ou mécaniquement. Les fils des lignes souterraines et ceux qui composent les câbles sous-marins sont en cuivre.

Les fils télégraphiques se divisent au point de vue de leur utilisation en fils *direct*, — *semi-direct*, — *omnibus*. On appelle fil *direct* un fil qui dessert des postes très éloignés les uns des autres, fil *semi-direct* celui qui relie des postes moins éloignés, et fil *omnibus* celui qui entre dans tous les postes, ou du moins dans presque tous les postes d'une ligne.

Fil de retour. — Conducteur employé dans certains cas pour ramener le courant à la source d'électricité. Le fil de retour a été supprimé en TÉLÉGRAPHIE en 1838, à la suite des expériences de Steinheil, qui montra que le retour peut se faire par la terre.

Fil de terre. — Fil qui relie à la terre l'extrémité d'un circuit ou l'un des pôles de la pile. L'installation des fils de terre joue un rôle très important en télégraphie. On emploie souvent comme fil de terre des tringles de fer galvanisé, longues de 2^m,50, et portant à leur partie supérieure un manchon à vis pour recevoir le fil de jonction. Mais il faut, pour obtenir de bons résultats, que ces tringles soient enfoncées dans un sol constamment humide. Il convient de remarquer aussi que, bien que galvanisées, les tringles de fer s'oxydent assez vite, et que la surface de contact avec la terre est relativement faible. Il est donc préférable de les remplacer par des plaques de fer galvanisé d'un mètre carré environ, qu'on enfonce dans le sol humide, ou que l'on plonge dans une eau courante ou dans un puits intarissable et non dans une citerne. La plaque doit rester plane et ne pas être roulée en cylindre ou en spirale. Elle doit être placée verticalement plutôt qu'horizontalement, et il est bon de la relier aux appareils par un large conducteur en cuivre. Au lieu de ce conducteur on peut se servir d'un câble, formé d'autant de fils de fer galvanisé de 0^m,004 de diamètre, qu'il y a de lignes à desservir; avec un minimum de trois fils. Les tuyaux de fonte destinés à la conduite des eaux et les rails de chemins de fer, peuvent être employés très avantageusement comme contacts avec la terre, à cause de leur grand développement.

Fil fin. — Nom donné au fil de faible diamètre qui, dans les PARATONNERRES à FIL FIN est destiné à être brûlé ou fondu par les décharges de l'électricité atmosphérique afin d'isoler de la ligne extérieure les appareils qu'elle dessert. Le fil fin est nu ou recouvert, mais dans la plupart des cas il est en fer.

Fil recouvert. — Fil de cuivre recouvert d'une enveloppe isolante formée tantôt d'une couche de gutta-percha et d'un gaillage de coton ou de soie, tantôt d'un gaillage de coton seulement, tantôt enfin d'un gaillage de soie.

Les premiers, ceux recouverts de gutta et coton, sont employés comme conducteurs pour les installations de lignes intérieures (postes télégraphiques, téléphoniques, sonneries d'appareil, etc.).

Les fils recouverts d'un gaillage de coton servent généralement pour la construction des gros électro-

aimants, des machines dynamo-électriques et dans ce cas ils sont d'assez gros diamètre.

Les fils recouverts de soie sont au contraire de petit diamètre et servent à la construction des APPA-



RELS TÉLÉGRAPHIQUES, des BOUSSOLES, des GALVANOMÈTRES, etc.

Voici les diamètres approximatifs en centièmes de millimètre des fils recouverts de soie correspondant aux numéros de la jaugé carcasse ou du commerce.

DES DE LA JAUGÉ.	DIAMÈTRES.	DES DE LA JAUGÉ.	DIAMÈTRES.
P	50	32	17
12	47	31	14
14	44	30	12
16	40	38	11
18	37	40	10
20	34	42	9
22	32	44	8
24	29	46	7
26	26	48	6
28	22	50	5
30	20		

On emploie aussi des fils recouverts de soie pour la construction des MOIRES de RÉSISTANCE, mais ces fils sont en maillechort ou en alliage argent et platine, ces deux alliages changeant très peu de RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE lorsque la température varie.

FILAMENT. — Dans presque tous les appareils de mesures électriques à grande sensibilité, on se sert depuis fort longtemps de fil de cocon comme moyen de suspension. M. C.-V. Boys a présenté, en mai 1887, à la Royal Society (Angleterre) un nouveau genre de filament qui paraît-il détrône complètement le fil de cocon ; il se fait, soit avec du verre, de l'éméraude, du quartz, etc. M. Boys prend une baguette minuscule de la matière à transformer en fil ; l'une des extrémités est maintenue contre un point fixe et l'autre est fixée à la partie postérieure d'une petite flèche posée sur un arc fortement tendu ; on chauffe alors la baguette au moyen d'un chalumeau oxyhydrique et l'on fait partir la flèche au moyen d'une pédale lorsque le ramollissement est jugé suffisant. On obtient ainsi des fils excessivement minces et cependant d'une remarquable ténacité ; ils ont de plus l'avantage d'être exempts du défaut connu sous le nom de *fatigue d'élasticité*.

Filament des lampes à incandescence. — Nom sous lequel on désigne le brin de charbon long et défilé qui, étant porté à l'incandescence par le passage du courant, produit la lumière. (V. INCANDESCENCE.)

FILTRAGE DU MERCURE (Développement d'électricité dans le). — M. Dechant, ayant un jour recueilli dans une soucoupe du mercure filtré au travers d'une peau de chamois, voulut le transvaser dans un autre récipient : ses doigts vinrent à toucher le mercure, et il reçut une forte secousse. En étudiant plus attentivement le phénomène, il reconnut que le mercure après son passage à travers les pores de la peau demeure électrisé positivement. En effet, si l'on prend soin de tenir l'appareil à filtrer par l'entonnoir en verre, c'est-à-dire si l'on isole ce même appareil, le tube métallique s'électrise négativement, avec assez d'énergie pour que, au bout d'un certain temps relativement court, on en puisse tirer des ÉTRINGELLES. Cette expérience démontre très clairement qu'on se trouve en présence d'une décomposition d'électricité provenant du frottement auquel le mercure est soumis lorsqu'il traverse les pores de la peau. En faisant usage de diverses peaux plus ou moins poreuses, M. Dechant a constaté que les quantités d'électricité développées augmentent en même temps que la finesse des pores, résultat auquel il fallait d'ailleurs s'attendre. (*L'Électricité*.)

FILTRE ÉLECTRIQUE. — En 1881, le Dr Dobell, dans un article publié par le *Times*, proposait de détruire les germes malsains contenus dans l'eau potable en faisant passer dans cette eau un COURANT ÉLECTRIQUE ; l'oxygène naissant produit aurait une action désinfectante.

Le Dr Stephen Emmons semble avoir eu la même idée : son filtre électrique se compose d'un récipient de verre dans lequel sont placés des vases poreux renfermant de la houille ou du fer spongieux et des plaques de charbon qui sont reliées au pôle positif d'une PILE Leclanché ; ils sont séparés les uns des autres par d'autres plaques de charbon qui communiquent avec le pôle négatif. L'eau arrive dans les vases poreux, traverse la houille ou le fer, et s'écoule du récipient extérieur.

Cette invention est en outre applicable à la purification des eaux d'égout. Dans ce but, les filtres ont la forme d'une conduite divisée par des cloisons en une série d'ÉLÉMENTS que les eaux traversent successivement. LES ÉLECTRODES sont des cages de bois, alternativement remplies de fer et de coke. Avec cette disposition la pile primaire n'est plus nécessaire, car la conduite elle-même constitue une puissante batterie dont le courant est plus que suffisant. (*La Nature*, 27 septembre 1881.)

FLACON ÉLECTRIQUE. — Flacon contenant des copeaux métalliques à l'intérieur, recouvert à l'extérieur d'une feuille de métal et qui forme condensateur. (V. CONDENSATEUR OU BOUTEILLE DE LEYDE.)

Fleeming-Jenkin (F.-R.-S.), mort à Édimbourg, en juin 1885, à 52 ans, avait été élève en Écosse, ayant séjourné ensuite à Francfort-sur-le-Mein, Paris et Gènes, il parlait l'allemand, le français et l'italien aussi couramment que sa langue natale. Il eut comme camarade d'école et ami d'enfance Clerk-Maxwell.

Il travailla comme apprenti mécanicien dans un atelier de locomotives de Marseille, puis dans les célèbres ateliers de sir William Fairbairn de Manchester, et

peut après chez MM. Newall de Birkenhead, avec lesquels il se trouvait engagé, en 1857, à la préparation du premier CABLE transatlantique. Il fut, avec sir William Thomson, dont il devint l'associé, ingénieur conseil de nombreuses Compagnies pour la construction et la pose des câbles établis pendant ces dernières années. Il inventa et perfectionna, en collaboration avec sir W. Thomson, un grand nombre d'instruments employés dans la télégraphie sous-marine.

Il professa la mécanique à University College, à Londres, avant d'occuper un poste similaire à Édimbourg. Il contribua dans une très large mesure à l'œuvre de la Commission des UNITÉS ÉLECTRIQUES de la British Association, dont il fut nommé rapporteur. Savant, homme de lettres, critique distingué, linguiste instruit, homme du monde, Fleeming-Jenkin a dévoué avec enthousiasme sa grande énergie à une dernière œuvre, l'invention du TELPHERAGE, à laquelle son nom restera associé.

FLUIDE ÉLECTRIQUE. — La propriété que possède l'électricité de se répandre sur certains corps et d'occuper toute leur étendue, quelque considérable qu'elle soit, a conduit les physiciens du siècle dernier à assimiler l'électricité à un fluide qui a été appelé *fluide électrique*.

Pour expliquer les phénomènes électriques ils ont supposé l'existence de deux espèces de fluide électrique. Ils ont appelé *fluide vitré*, ou plus souvent *positif*, celui qui se développe sur le verre frotté avec de la flanelle, et *fluide résineux*, ou *négalif*, celui qui se développe sur la résine frottée avec de la peau de chat.

Enfin, pour expliquer le développement de l'électricité par le frottement, on a dû faire une nouvelle hypothèse : on a admis que tous les corps renferment les deux électricités, unies ensemble en proportion telle que l'action de l'une peut exactement neutraliser l'action de l'autre, et on a donné le nom de *fluide neutre* à cette combinaison des deux fluides électriques.

Cette conception matérielle peut offrir quelques avantages parce qu'elle facilite le langage, mais elle n'est pas nécessaire.

Les fluides étaient fort en faveur au siècle dernier, parce que la notion de ce que nous appelons aujourd'hui *énergie* faisait encore défaut, et l'on rapportait à des différences dans la nature des substances, ce que nous rapportons aujourd'hui à des différences dans les quantités d'*énergie* contenues dans une même substance.

Ainsi l'on rapportait nos diverses sensations : chaleur, lumière, etc., au contact avec nos organes d'auant de substances auxquelles on avait donné les noms de fluide calorique, fluide lumineux, etc., voulant désigner par ce mot *fluide* la subtilité extrême que devaient posséder ces substances hypothétiques pour pénétrer tous les corps, et leur extrême légèreté.

Il était donc naturel que l'on rapportât toute une classe de phénomènes physiques, tels que les phénomènes électriques, à une nouvelle substance qui fut appelée *fluide électrique*.

La découverte du principe de la conservation de la matière, due à Lavoisier, et celle du principe de la conservation de l'énergie, ont profondément modifié les conceptions d'alors.

En effet, puisque la matière est indestructible, elle doit subsister après avoir opéré une action quelconque, c'est-à-dire un travail.

En supposant ainsi le fluide calorique indestructible, et ne pouvant attribuer les phénomènes qui se

passent dans nos machines à vapeur qu'à une chute de potentiels de ce fluide, Sadi Carnot fut conduit à la découverte du célèbre principe qui porte son nom. (Par un hasard très remarquable, le principe de Carnot, issu d'une conception fautive, comme nous allons le voir, a été vérifié expérimentalement dans toutes ses conséquences.)

Mais l'expérience montra que, contrairement à l'opinion de Carnot, il y avait réellement destruction de *chaleur* lorsque la vapeur passait de la chaudière d'une machine dans son condenseur, après avoir travaillé dans son cylindre. La chaleur ne pouvait donc pas être une substance spéciale, elle consistait simplement dans la quantité d'*énergie interne* plus ou moins grande que renferment les corps réputés chauds parce qu'ils exercent une action spéciale sur nos sens.

L'identité de la lumière avec la chaleur rayonnante, et, par suite, sa destructibilité transformable en chaleur conductible, ont été mises hors de doute. La lumière n'est donc pas une substance spéciale, et les phénomènes lumineux ne peuvent être considérés que comme des transmissions d'énergie à distance. Le passage des rayons lumineux au travers de l'espace et des corps transparents, ainsi que d'autres considérations, ont conduit à admettre l'existence d'un corps transmetteur répandu dans tout l'espace et pénétrant tous les corps dits matériels, qu'on a appelé *éther*.

On admet ainsi l'existence d'un *fluide*, qui dans la conception moderne, n'agit plus par la nature de sa substance, mais par ses variations d'énergie.

Mais tandis que l'on démontrait que la chaleur et la lumière n'étaient pas dues à l'existence de substances particulières, l'expérience faisait voir que de tous les phénomènes électriques, au contraire, se dégageait une notion spéciale : celle de la *masse électrique* ou *quantité d'électricité*, qui revêtait tous les caractères d'indestructibilité de la matière. Faraday, après avoir étudié les phénomènes électro-statiques, fut amené à conclure, en se servant du langage de la théorie des deux fluides, que l'on ne pouvait pas développer ou détruire une quantité d'énergie positive ou négative, sans produire ou détruire en même temps *quelque part* une égale quantité d'électricité négative ou positive. Cette opinion a été absolument confirmée depuis. D'un autre côté, il démontra que si, dans un circuit parcouru par un courant électrique, l'énergie disponible diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne du pôle + de la source, certains phénomènes, tels que l'action du courant sur une aiguille aimantée ou sur la décomposition d'un électrolyte quelconque, demeurent indépendants de la position du point du circuit où ils se manifestent et de l'énergie du courant disponible en ce point. Ils ne dépendent que d'un nouvel élément auquel on a donné le nom d'*intensité du courant*. Or on a montré, depuis, que des phénomènes identiques pouvaient être reproduits en laissant se recombiner à travers un conducteur des *quantités* égales d'électricité positive et négative, autrement dit, qu'un courant électrique au travers d'un conducteur n'était autre chose que l'écoulement continu de *quantités d'électricité* d'un point à un certain potentiel vers un autre point à un potentiel inférieur, de même qu'un ruisseau est constitué par l'écoulement continu de quantités d'eau d'un point à un certain niveau vers un autre point à un niveau inférieur.

Les phénomènes électriques ne sont donc pas dus à des variations de l'énergie des corps qui nous entourent, mais leur manifestation implique l'existence d'un corps spécial qui mérite le nom de *fluide*, si l'on désigne par là la propriété de pouvoir pénétrer tous les autres corps, et d'avoir un poids insensible à nos sens et à nos instruments de mesure.

Nous avons dit plus haut que l'on avait dû admettre l'existence d'un fluide éhéré pour expliquer les phénomènes lumineux, et nous voici conduits à admettre aussi l'existence d'un fluide électrique. Seulement, dans le premier cas, l'existence du fluide éhéré est nécessaire à la production des phénomènes lumineux, mais n'est pas la lumière, de même qu'une atmosphère est indispensable pour la production d'un son, mais n'est pas le son; tandis que, dans le second, le fluide électrique n'est autre chose que l'électricité elle-même.

En définitive, la théorie des fluides des physiciens du siècle dernier a été profondément modifiée en ce qui concerne la chaleur et la lumière, mais est demeurée intacte, au langage près, en ce qui concerne l'électricité.

De l'action à distance. — On sait que, d'après le théorème des quantités de mouvement, l'impulsion élémentaire d'une force, c'est-à-dire le produit de son intensité F par la durée de son action est égale au produit de la variation de vitesse $(v - v_0)$ par la masse m du point auquel elle est appliquée.

Lorsque l'on voit la quantité de mouvement d'un corps changer, on peut dire : c'est le résultat de l'action d'une force qui a pu agir à distance, ou c'est le résultat d'un échange de quantités de mouvements entre ce corps et d'autres corps qui peuvent être invisibles pour nous, comme le seraient les particules d'un fluide répandu dans tout l'espace.

A la fin du siècle dernier, grâce à l'autorité de Laplace, on admettait généralement la réalité de l'action à distance pouvant s'exercer entre deux points matériels quelconques séparés par le néant absolu. Il faut dire qu'il résulte des calculs de Laplace que si la gravité était due aux réactions d'un milieu, elle devrait mettre un certain temps à se propager, ce qui donnerait lieu à la production de certaines anomalies. Or de l'absence de ces anomalies, Laplace a conclu que si la gravité ne se propageait pas instantanément, sa vitesse de propagation devrait être au moins 50.000.000 de fois supérieure à celle de la lumière.

Lorsque les phénomènes d'attraction et de répulsion électriques furent connus, on fut naturellement conduit à étendre aux fluides imaginés pour expliquer ces phénomènes les propriétés de la matière. Coulomb vérifia expérimentalement qu'il en était ainsi.

D'un autre côté, d'après la théorie d'un seul fluide de Franklin, théorie qui est généralement admise aujourd'hui, on est amené à dire :

- 1° Tous les corps, à l'état neutre, renferment une quantité d'électricité déterminée.
- 2° Si on augmente cette quantité d'électricité, on dit que l'on électrise positivement le corps.
- 3° Si on diminue cette quantité d'électricité, on dit que l'on électrise négativement le corps.

4° Il suffit d'admettre pour expliquer tous les phénomènes d'attraction et de répulsion électriques, ainsi que ceux de la gravitation, que deux masses électriques se repoussent proportionnellement à leurs masses et, inversement, au carré de leurs distances, tandis qu'une masse électrique est attirée par une masse matérielle, proportionnellement au produit des deux masses et, inversement, au carré de leur distance.

On arrive ainsi à ces conclusions :

- 1° Que l'électricité jouit de la propriété qu'on avait déjà attribuée à l'éther, de pénétrer tous les corps de la nature.
- 2° Qu'il est inutile de supposer que la matière s'attire, et que l'existence des attractions et répulsions

électriques suffit pour expliquer tous les phénomènes de la gravitation.

Ce dernier résultat est très important en ce qu'il permet de rattacher à une seule et même cause deux phénomènes très distincts, tels que la gravitation ou pesanteur et les attractions électriques, que nous ne pouvons constater que dans nos laboratoires.

La force qui s'exerce entre deux points électrisés serait donc une force centrale, c'est-à-dire fonction de la distance, mais indépendante de toute autre variable. Mais il n'en est pas de même de la force qui s'exerce entre deux éléments de courants. Celle-ci est, en effet, fonction, non seulement des intensités de ces courants, ou, ce qui revient au même, du temps, mais aussi de la nature du milieu extérieur. Ainsi cette force deviendrait nulle si entre ces deux

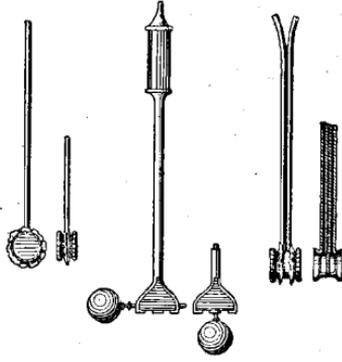


Fig. 1. — Appareils destinés à produire des mouvements vibratoires. Les uns se composent de petits tambours qui sont alternativement genés et dégenés. Les autres de petites sphères qui reçoivent un mouvement de va-et-vient.

éléments de courant nous interposions une plaque de fer suffisamment épaisse.

Il n'y a aucune contradiction dans la différence de nature que nous avons été amenés à supposer entre les forces qui s'exercent entre deux corps électrisés statiquement et celles qui s'exercent entre deux conducteurs parcourus par un courant. Un exemple familier le fera comprendre. Considérons un corps plongé dans l'eau : il attirera proportionnellement à sa masse, et inversement au carré des distances, un autre corps plongé aussi dans le même milieu; mais si nous venons à le déplacer, il produira des remous dans le liquide qui se propageront avec une vitesse dépendant de l'élasticité de ce milieu, et qui, au bout d'un certain temps, feront ébranler le deuxième corps. Cette action du premier corps sur le deuxième est tout à fait indépendante de la force due à la gravitation qui s'exerce entre eux. MM. Bjerknæs, Stroh, Decharme, etc., ont même réalisé des expériences très intéressantes sur des corps de formes particulières, et auxquels ils communiquèrent certains mouvements. Ils ont déterminé ainsi soit des attractions, soit des répulsions.

De même, deux masses électriques s'attireront toujours, en raison inverse du carré de leur distance, quel que soit leur état de mouvement; mais cet état de mouvement déterminera dans le milieu qui les con-

tiennent des remous qui, en se propageant, viendront agir à leur tour sur ces masses, et pourront soit augmenter leur attraction, soit au contraire l'annuler et la changer en une répulsion apparente.

Maxwell a démontré que si deux masses d'électricité de même nom se propageaient suivant deux lignes parallèles, avec une vitesse égale à celle de la propagation de la lumière, leur répulsion serait exactement compensée par les différences de pression exercées

sur le volume qui les contiendrait par le milieu ambiant.

Un savant suédois, Edlund, considère l'électricité comme la manifestation de la plus ou moins grande quantité d'éther dont tous les corps sont remplis.

Suivant l'opinion émise récemment par plusieurs physiciens, l'électricité ne serait autre chose que l'éther, et les phénomènes électriques, aussi bien que les phénomènes caloriques et lumineux, résulteraient

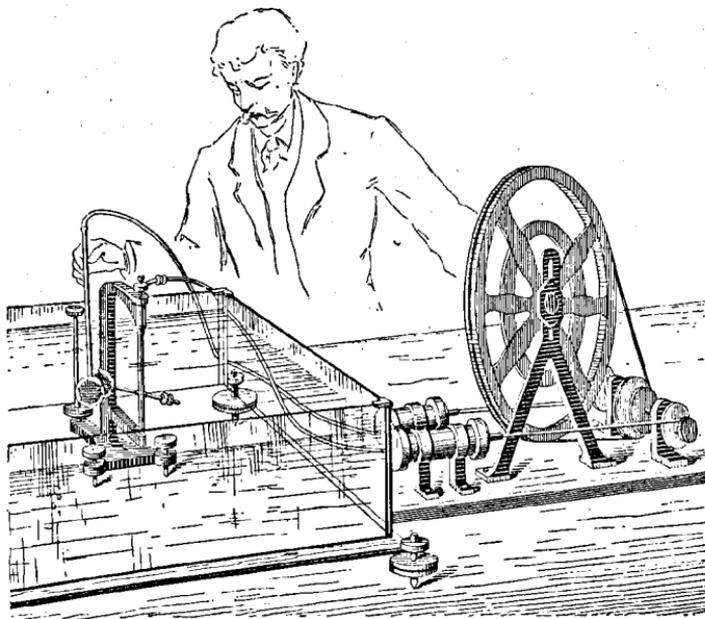


Fig. 1. — A droite est la pompe qui sert à déterminer les gonflements et dégonflements successifs ou les mouvements de va-et-vient. Le récipient de gauche est rempli d'eau. On y a disposé un appareil portant un petit tambour analogue à ceux de la fig. 1, mobile autour d'un axe vertical. L'opérateur en tient un autre à la main. Si tous deux se gonflent et se dégonflent simulta-

nément, le tambour mobile est repoussé lorsqu'on l'approche l'autre. L'inverse a lieu si l'un se gonfle pendant que l'autre se dégonfle, et réciproquement. Un des tambours de la fig. 1 est construit de manière que l'une de ses faces se gonfle pendant que l'autre se dégonfle. Il suffit donc de le retourner sur lui-même pour obtenir des effets d'attraction ou de répulsion.

des mouvements de translation ou de vibration de cette substance.

M. Bjerkness de Christiana a fait en 1881, à l'Exposition d'électricité de Paris, à l'aide d'appareils de son invention, une série d'expériences qui tendent à confirmer cette dernière hypothèse.

Ces appareils se composent de petits tambours à membranes de caoutchouc dont l'intérieur est mis en communication, à la manière des sonneries à sir, avec de petites pompes horizontales aspirant et foulant alternativement en cadence l'air renfermé dans les petits tambours. M. Bjerkness appelle ces tambours des *corps pulsants*; les autres appareils, terminés par

de petites sphères en laiton, sont animés de mouvements oscillants très rapides produits par un piston minuscule, commandant une série de petites bielles articulées. Une troisième série d'appareils, ressemblant à des ludions, constituent de petits flotteurs maintenus entre deux eaux des sphères ou des cylindres dont la densité est soit supérieure, soit inférieure à celle de l'eau.

Il suffit de consulter les fig. 1, 2, 3 et 4 et de lire les légendes placées au-dessous pour se rendre un compte exact de la nature des expériences de M. Bjerkness.

M. Bjerkness a donc ainsi créé tout un monde de

corps vibrant à sa volonté et, grâce à eux, il a démontré expérimentalement que deux surfaces vibrant

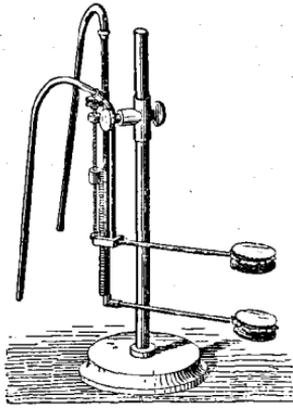


Fig. 3. — Si on te les deux tambours que l'on voit ci-dessus on place deux petites sphères plus lourdes que l'eau supportées par des flotteurs, et si les tambours se gonflent et se dégonflent simultanément, les sphères sont repoussées en dehors du cylindre aqueux limité aux deux tambours. Si les vibrations sont de phases différentes, les deux sphères sont, au contraire, attirées vers l'axe. L'inverse a lieu si le corps interposé entre les deux tambours est plus léger que l'eau.

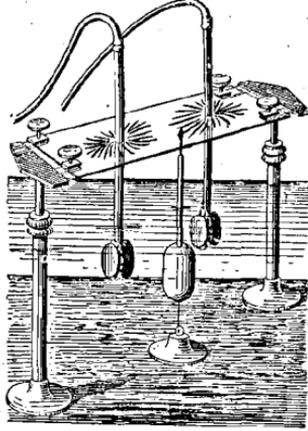


Fig. 4. — Cette figure représente l'appareil employé par M. Bjerkness pour étudier les actions qui se passent au sein du milieu liquide. Un petit cylindre vertical muni d'un tige flexible portée, à sa partie supérieure, sur un morceau qui inscrit ses mouvements sur une plaque de verre. Les figures ainsi tracées sont absolument identiques à celles qu'on obtient en projetant de la limaille de fer sur un bande de carton situé dans le voisinage d'aimants.

à l'unisson s'attirent lorsque le gonflement des tambours, mis en présence dans cet aquarium, est si-

multané, et se repoussent, au contraire, lorsque le gonflement de l'un correspond au dégonflement de l'autre. Il a le premier réalisé des phénomènes d'attraction et surtout de répulsion, rappelant, dans leur ensemble, les phénomènes d'attraction et de répulsion des barreaux aimantés. L'anomalie qui vient en apparence troubler l'analogie des phénomènes électriques et magnétiques avec ceux dont il vient d'être question (et auxquels M. Bjerkness a donné le nom de *phénomènes hydrodynamiques*), tient à ce que les vibrations moléculaires, dans les phénomènes électriques et magnétiques, ne sauraient être des mouvements symétriques.

À l'appui de cette théorie de la vibration universelle, on pourrait encore citer une expérience facile à répéter : celle de l'attraction des corps légers produite par un diapason en vibration.

FLUIDE MAGNÉTIQUE. — Pour interpréter les phénomènes magnétiques, on les attribue autrefois à l'action de deux fluides doués de propriétés contraires, résidant autour des molécules du fer et dont la réunion formerait le *fluide magnétique neutre*. Cette théorie imaginée par Coulomb, a été renversée par Ampère. (V. AIMANT ET MAGNÉTISME.)

FLUORESCENCE ÉLECTRIQUE. — Phénomènes lumineux obtenus soit par la lumière de l'arc, soit par la lumière des tubes de GEISSLER sur certaines substances telles que : sulfures alcalino-terreux, dissolution de sulfate de quinine, différents verres, et plus spécialement le verre coloré avec de l'uran.

FLUVIOGRAPHE. — Appareil installé près des cours d'eau pour retracer leurs variations à l'aide de transmissions mécaniques.

Nous donnons ci-après la description de quelques systèmes de fluviographes enregistreurs dans lesquels l'électricité joue un rôle plus ou moins important.

Fluviographe enregistreur de M. Collin. — Cet instrument est employé pour le règlement des retenues formées par les barrages mobiles. Il enregistre automatiquement les variations de la retenue sur un papier que déroule un mouvement d'horlogerie et il avertit les agents par une sonnerie électrique dès que le niveau s'écarte des limites fixes d'avance. L'appareil peut être installé en plein air, exposé aux intempéries, confié à des mains un peu rudes. Il est, en un mot, construit d'une façon rustique, d'un prix peu élevé, et peut être réparé par l'horloger le plus modeste.

Dans le type représenté *fig. 1*, les courbes s'inscrivent sur un cylindre vertical porté sur une pointe et offrant par conséquent une très petite résistance au mouvement.

L'appareil est enfermé dans une boîte en chêne munie de portes. Le flotteur est logé dans une gaine en planches. Le fil qui supporte le flotteur s'enroule sur une poulie puis vient s'attacher au chariot portecrayon. Le crayon est fixé à l'extrémité d'un stylet qui présente un coude pour ne pas masquer le tracé de la pointe écrivant, et il s'appuie par un ressort doux sur le cylindre qui fait tourner un mouvement d'horlogerie. Ce cylindre est recouvert d'une feuille de papier divisée en abscisses qui représentent les divisions du temps et en ordonnées représentant les changements de niveau dans le but de rendre les courbes plus visibles lorsque la feuille est développée. Le chariot est muni d'un taquet, qui, par son contact avec des lames flexibles, donne passage à un courant électrique, et met en action une sonnerie installée sur la figure à gauche et en haut du flu-

viographe, mais, qui, en pratique, est placée près du chevet du barragiste. Les lames flexibles, au nombre de deux, sont placées sur une échelle graduée, à des hauteurs convenables pour enfermer les variations de la retenue dans des limites déterminées d'avance. Le mouvement d'horlogerie se remonte tous les huit jours et fait décrire un tour au cylindre en une semaine ou, si on le veut, en vingt-quatre heures, ce qui sextuple l'échelle des abscisses.

La première application du fluviographe à cylindre sur la basse Seine a été faite à l'écluse de Suresnes. M. Collin construisait aussi des fluviographes qui ne différaient du précédent qu'en ce que les courbes s'inscrivent sur un disque suivant un système de coordonnées polaires. Ce dernier modèle, imaginé par M. Cheysson, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a été mis en service successivement aux barrages de Notre-Dame-de-l'Isle et de Bezons, et a reçu diverses simplifications et améliorations.

Fluviographe de MM. H. Lepaute. — Certains fluviographes empruntent à l'électricité la faculté de transmettre à distance certains signaux. Nous citerons, comme l'un des exemples les plus curieux de ce genre d'application de l'électricité, le fluviographe que MM. Henry Lepaute ont construit pour contrôler les manœuvres d'écluses à l'embouchure de l'Aa, dans le port de Gravelines. Il se compose essentiellement d'un curseur qui se déplace horizontalement selon les mouvements du flotteur, auquel il est joint par des poulies de renvoi, et qui pointe le temps sur un cylindre enregistreur sous l'action d'un électroaimant, dans lequel l'horloge motrice de ce cylindre envoie un courant toutes les cinq minutes. La série de ces pointages donne la courbe de variation du niveau de l'eau. Sur une règle parallèle au parcours du curseur sont placés, chaque jour à des points spéciaux de maximum et de minimum établis d'après les niveaux de haute et de basse mer, des contacts amovibles munis de crayons qui impriment leurs traces sur le cylindre enregistreur et qui sont disposés de telle sorte que des sonneries électriques spéciales retiennent chez les écluseurs et les avertissent d'ouvrir ou de fermer les écluses des canaux de dérivation, dès que le curseur a atteint le contact correspondant, et même tant qu'il n'est pas rentré dans les limites indiquées. Les circuits de sonnerie passent par les écluses de flot dont la fermeture arrête leur fonctionnement à l'aide d'un interrupteur logé dans le buse. (*Rapport du jury de l'Exposition de 1881.*)

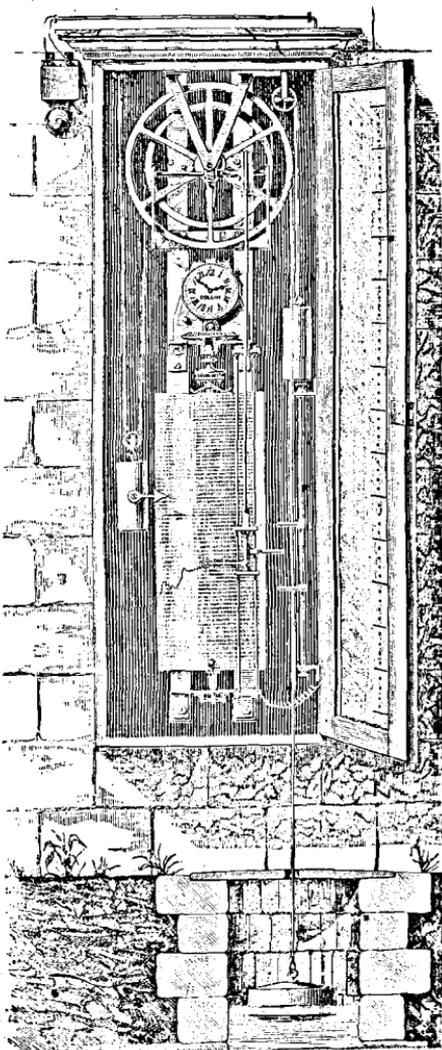


Fig. 1.

Fluviographe électrique avertisseur de M. C. Mocquery. — Le fluviographe électrique avertisseur de M. Charles Mocquery, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a pour objet d'enregistrer à toutes

distances, à l'aide de l'électricité, les variations de niveau d'un cours d'eau, et lorsqu'il est établi dans l'emplacement d'un barrage mobile d'une rivière navigable, d'avertir les barragistes des manœuvres qu'ils ont à faire, soit pour maintenir le tirant d'eau nécessaire à la navigation, soit pour donner un débouché suffisant au moment des crues.

L'ensemble du système se compose d'un *flotteur* s'élevant et s'abaissant avec l'eau du fleuve et agissant sur le *transmetteur* qui a pour mission d'envoyer des courants électriques à l'*enregistreur* inscrivant les variations de niveau et à l'*avertisseur* chargé

de prévenir les barragistes des manœuvres qu'ils ont à faire. Voici la description que nous en a donnée M. Mocquery.

1° *Flotteur*. — Le flotteur est un cylindre de zinc creux, sans aucune ouverture, flottant librement sur l'eau que renferme un tube de même métal en communication avec la rivière, et dans lequel le niveau de l'eau est par suite le même que celui du cours d'eau. Le diamètre du flotteur est calculé de telle sorte que le poids d'une tranche très mince soit suffisant pour mettre le transmetteur en mouvement. Plus le diamètre sera grand, plus l'appareil

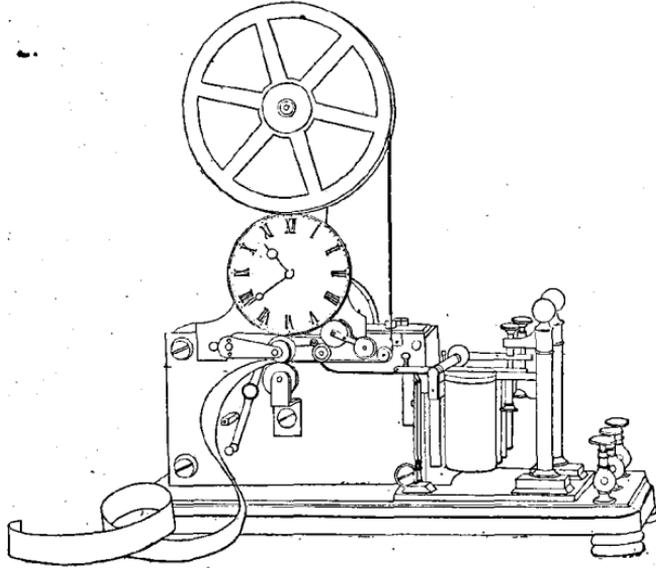


Fig. 2. — Fluviographe Mocquery. Récepteur.

sera sensible, dans la pratique un rayon de 0^m,45 est suffisant.

Lorsque le fleuve est sujet à avoir des vagues formées soit par l'action du vent, soit par le passage des bateaux à vapeur, il faut diminuer autant que possible les ouvertures par lesquelles le tube de zinc communique avec l'eau extérieure afin que le flotteur ne soit pas influencé par ces variations accidentelles qui n'indiquent rien relativement au régime, seul intéressant à connaître. Pour l'appareil il suffit que ce battillage ait une amplitude inférieure à 0^m,10 dans le tube de zinc pour qu'il soit sans inconvénients, rien n'est plus facile à obtenir.

Un fil métallique attaché au centre de la section supérieure du flotteur le met en communication avec le transmetteur.

2° *Récepteur*. — Il serait plus logique de décrire actuellement le transmetteur qui est en relation directe avec le flotteur; mais il est indispensable pour le bien comprendre de connaître le récepteur (fig. 2). Celui-ci n'est autre qu'un *RÉCEPTEUR* MORSE, à double électro-aimant, actionnant chacun une roulette,

dont l'une est à encre bleue et l'autre à encre rouge. Ces roulettes sont placées à côté et très près l'une de l'autre, et marquent leurs indications sur la même bande de papier qui se déroule d'un mouvement uniforme sous l'action d'un appareil d'horlogerie. La vitesse du déroulement doit être en rapport avec celle des variations de niveau du cours d'eau, de manière que les indications soient suffisamment espacées pour éviter toute confusion et ne le soient pas trop. Un des cylindres du laminoir d'entraînement du papier est muni de petites pointes qui percent un trou sur la bande toutes les dix minutes. Cette disposition, outre qu'elle assure le déroulement uniforme, enlèverait encore tout inconvénient à une variation dans la vitesse d'entraînement. Un cadran marque l'heure et permet de l'inscrire sur la bande de papier en regard du trou correspondant chaque fois qu'on la coupe ou qu'on visite l'appareil. Chacun des deux électro-aimants est relié à un fil de ligne, de telle sorte que si un courant est transmis par l'un des fils, un point rouge s'imprime sur la bande de papier, tandis que le point marqué serait bleu si le

courant passait par l'autre fil. Comme nous allons le voir un courant est lancé par le transmetteur pour chaque variation de niveau de 0^m,05, dans le premier fil si l'eau monte, dans le second si elle descend. Les points rouges marquent donc successivement 0^m,05 de hausse et les points bleus 0^m,05 de baisse.

3^e Transmetteur. — Le transmetteur (fig. 3) se compose d'abord d'une poulie de 0^m,318 de diamètre (de telle sorte que sa circonférence soit égale à 1 m-

tre), fileté en vis à pas aussi petit que possible, autour de laquelle s'enroule le fil du flotteur. Le nombre de tours dépend de la hauteur des variations du cours d'eau à observer. Il en résulte que si l'eau descend dans le tube, le flotteur s'abaissera et fera tourner la poulie dans un certain sens en déroulant le fil; si, au contraire, l'eau remonte, un contrepoids fera tourner la poulie en sens inverse et enroulera le fil au fur et à mesure. Le mouvement rectiligne alterna-

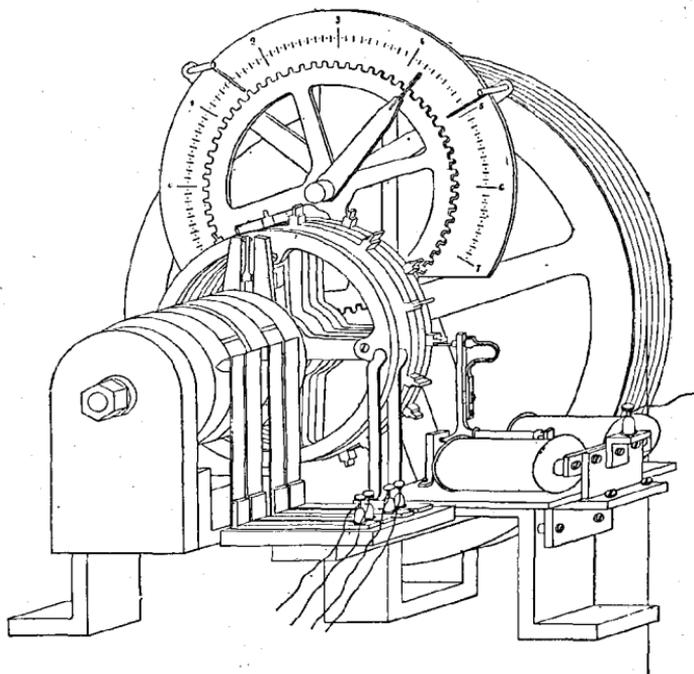


Fig. 3. — Fluvio-graphie Moequery. Transmetteur.

tif du flotteur se trouve ainsi transformé en mouvement corrélatif de rotation.

Sur l'arbre de la poulie est calée isolée une roue formée de deux parties juxtaposées et isolées électriquement entre elles par un disque en ébonite. Chacune de ces parties porte dix dents également espacées sur la circonférence et placées de telle sorte que les dents de l'une partagent en deux parties égales l'intervalle des dents de l'autre. Sur un même côté l'espacement de deux dents correspond ainsi à un déplacement de 0^m,40 du flotteur, et si l'on passe alternativement d'un côté à l'autre, l'intervalle des dents des deux côtés ainsi associés correspondra à un déplacement de 0^m,05. En regard de cette roue est placé un taquet monté sur un support oscillant autour d'un axe horizontal qui lui permet de prendre

contact alternativement avec chacune des dents de la roue, ainsi que nous allons l'expliquer. Le support est terminé par une palette qui est le pôle nord d'un petit électro-aimant à une seule bobine, placé lui-même entre les bobines d'un électro-aimant plus gros dont les pôles recourbés sont en regard de la palette. Les bobines des deux branches du gros électro sont isolées et enroulées de telle sorte que les pôles changent de signe si le courant passant d'abord par une des bobines vient à passer par l'autre; le courant ne pouvant d'ailleurs jamais passer que par une des bobines à la fois. Comme le signe de l'aimantation de la palette ne change pas, celle-ci se trouvera alternativement attirée par chacun des pôles, lorsque le passage du courant changera de bobine et repoussée par celui avec lequel elle

se trouvait primitivement en contact; c'est ce qui produit l'oscillation du taquet.

Chacun des côtés isolés de la roue à dents est relié électriquement avec l'une des bobines du gros électro. On voit ainsi que si le courant entre par la bobine du petit électro de la palette oscillante, suit le ressort sur lequel est monté le taquet, et que celui-ci arrive en contact d'une dent de la roue, le courant passera par celle-ci et ira actionner l'une des bobines de l'électro; aussitôt la palette sera repoussée de son contact et attirée par l'autre pôle, et le taquet oscillera pour se mettre en regard de l'autre bord de la roue à dents. Si le mouvement continue, il rencontrera la dent suivante de ce côté-là; alors le courant, qui avait été interrompu aussitôt après la première oscillation, qui avait détruit le contact, passera par la deuxième bobine du gros électro, les pôles changeront de signe, une oscillation de sens contraire se produira et ainsi de suite. Le taquet se trouvera donc successivement en contact avec toutes les dents et enverra un

courant pour chaque variation de 0^m,05 dans le niveau de l'eau du puisard.

S'il n'y avait aucun batillage de l'eau dans le puisard, l'oscillation produite par les électro-aimants deviendrait inutile, et au lieu de former la roue à dents de deux parties isolées, on aurait pu mettre toutes les dents sur le même disque. Mais on comprend que pour peu qu'il y ait du batillage, et on ne peut jamais s'en affranchir d'une manière absolue, si l'on se trouve à un contact, il se produira une oscillation qui fera marquer une série de points sur le récepteur tellement rapprochés qu'il se produirait une confusion inextricable. Grâce à l'échappement, au contraire, une fois le point marqué, le contact a échappé et les oscillations, à moins d'avoir plus de 0^m,10 d'amplitude totale, sont sans effet. Or une semblable amplitude n'est évidemment pas à redouter en prenant les précautions les plus élémentaires. En avant de la roue à dents est placé, sur le même axe, un disque isolé sur lequel s'appuie un

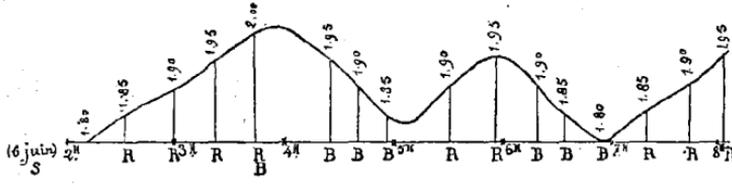


Fig. 4.

frotteur relié électriquement avec les deux extrémités des fils des deux bobines des électros. Le courant venant de l'un quelconque des côtés de la roue à dents et passant par l'une quelconque des bobines passe nécessairement par ce disque. Celui-ci porte en saillie sur sa face antérieure une tige munie de deux dents emboîtées dans une fourchette dont les branches sont isolées entre elles. Chacune de ces branches communique par l'intermédiaire de disques à frottements avec un fil de ligne le reliant avec un des électros du récepteur Morse. Cette fourchette est montée comme un bras de poulie folle sur l'axe de rotation de l'appareil, de sorte qu'elle peut être entraînée dans un sens ou dans l'autre par les dents du disque antérieur. Si le mouvement va de gauche à droite, c'est le bras de droite qui est en contact avec la dent; si le mouvement est inverse, c'est l'autre bras qui touche. Le courant passera donc par un bras ou par l'autre suivant le sens du mouvement de rotation de l'appareil, c'est-à-dire suivant le sens du mouvement de l'eau dans le puisard; et comme ils communiquent l'un avec l'électro du récepteur marquant des points rouges et l'autre avec celui imprimant des points bleus, on voit que si l'eau monte, il y aura un point rouge marqué pour chaque 0^m,05 de crue et que si au contraire elle descend, il y aura des points bleus pour chaque 0^m,05 de baisse. Ce commutateur si simple constitue le principe de l'appareil.

L'axe du système se prolonge en avant en une série de disques métalliques isolés par de l'ébonite et sur lesquels portent des frotteurs reliés avec les fils de ligne. C'est à deux de ces cylindres que sont reliés électriquement les bras du commutateur et c'est par eux qu'ils sont mis en relation avec la ligne.

L'appareil ainsi constitué suffirait pour indiquer les variations du niveau. Au moment de l'installation

on inscrit l'heure et la cote de l'eau; la longueur du papier déroulé indique le temps écoulé et les trous marqués par le laminoir d'entraînement permettent de le mesurer, même sans le décimètre, si la bande de papier présente ensuite les points suivants :

R R R R R R R R R
 B B B B B B

Les quatre premiers points rouges indiquent une montée de 0^m,20, les trois points bleus suivants une descente de 0^m,15, etc.; finalement, comme dans l'intervalle il y a eu 9 points rouges et 6 bleus, l'eau aura monté en définitive de 0^m,15, l'espace des points étant proportionnel au temps écoulé on peut facilement tracer la courbe des variations (Fig. 4).

La cote absolue dépend de la cote initiale; si celle-ci était de 1^m,80, la cote finale serait ici de 1^m,95.

Pour éviter de recourir indéfiniment à la cote initiale, et surtout comme moyen de contrôle, on ajoute à côté des disques entièrement métalliques deux autres disques en ébonite, sur lesquels il n'y a qu'une petite lame transversale métallique. Ils sont également munis de frotteurs, c'est pourquoi on en voit quatre sur le devant de la fig. 3. Ces contacts métalliques correspondent aux cotes rondes de mètres, les frotteurs sont reliés comme les deux autres avec des fils de ligne, mais le contact dont le frotteur correspond à la ligne bleue est en communication métallique avec le disque de la ligne rouge et réciproquement. Il en résulte qu'à chaque cote ronde, c'est-à-dire de mètre en mètre, il y a à la fois un point rouge et un point bleu marqués au même instant. Ces cotes rondes sont donc indiquées d'une façon spéciale, ce qui facilite la lecture

et permet de vérifier les indications; on le comprend aisément.

4° *Avertisseur*. — Il nous reste à parler de l'avertisseur. Rien n'est plus simple. On voit au-dessus et derrière la roue à dents (fig. 3) une roue d'engrenage mû par un pignon monté sur l'axe général. Sur l'axe de cette roue d'engrenage est placé un bras muni d'un ressort qui se meut sur un cadran. Grâce au pignon, la roue d'engrenage ne fait qu'une fraction de tour pour chaque tour de roue de l'appareil, c'est-à-dire par mètre de variation du niveau de l'eau. Le cadran peut donc indiquer toutes les variations du niveau de la rivière, on calcule le pignon en conséquence. Ceci permet de lire le niveau de l'eau comme sur un échello ordinaire; mais on voit derrière le cadran deux autres bras dont l'extrémité se recourbe pour présenter un ressort placé en avant sur le cadran, précisément dans la trajectoire du ressort du bras de la roue d'engrenage; à l'aide d'une vis de pression on fixe ces contacts aux cotes que l'on veut. S'il s'agit d'un barrage mobile on place le premier à la cote minimum nécessaire à la navigation et le second à la cote minimum de la retenue. Si l'eau arrive au niveau marqué par le second contact, les barragistes devront couvrir le barrage; ils devront au contraire le relever si elle descend au niveau marqué par le premier. Mais à ce moment le contact du bras mobile a lieu et comme celui-ci est monté en dérivation, un courant passera par les contacts et ira actionner une sonnerie chez les barragistes. Ceux-ci seront donc avertis chaque fois qu'ils auront une manœuvre à faire.

Le grand avantage de l'appareil sur les fluviographes purement mécaniques se trouve d'abord dans l'avertisseur et ensuite et surtout en ce que le même récepteur peut avec une bande de papier suffisamment large (0^m.01 par transmetteur) enregistrer simultanément les variations de plusieurs barrages. Le récepteur étant, bien entendu, pourvu d'autant de paires d'électro-aimants qu'il y a de transmetteurs. Cet appareil, très peu volumineux, peut être placé sur le bureau de l'ingénieur de la navigation, qui, sans sortir de chez lui, voit se dérouler sous ses yeux les variations du fleuve dans tous les points intéressants, beaucoup mieux que s'il était placé au bord de l'eau où il n'observerait qu'un seul point. Il peut enfin voir si les barragistes font les manœuvres en temps utile, en un mot il surveille son service depuis son cabinet. Il est présent partout à la fois et grâce aux lignes télégraphiques installées dans tous les services aujourd'hui, il peut donner ses ordres au moment précis où ils doivent être exécutés et en surveiller l'exécution sans se déranger. L'appareil construit par M. Collin, horloger à Paris, a été honoré d'une médaille d'argent à l'Exposition internationale d'électricité de 1881, à Paris.

FORCE COERCITIVE. — L'aimantation communiquée à un barreau de FER DOUX lorsqu'on approche de ce barreau un aimant, n'est que passagère; elle cesse dès qu'on éloigne l'aimant. L'acier, le nickel et le cobalt, quand ils ont subi l'influence prolongée d'un aimant, conservent le magnétisme qui s'y est développé; mais aussi il faut beaucoup plus de temps pour que la seule proximité d'un aimant fasse apparaître dans ces métaux les deux pôles et la ligne NEUTRE.

On énonce ces derniers résultats en disant que ces métaux possèdent une force coercitive dont le fer est dépourvu. Cette force empêcherait, dans les premiers moments, l'acier de s'aimanter quand on le soumet à l'influence d'un pôle exciteur, et d'au-

tre part, elle maintiendrait l'aimantation qui a été produite par le contact prolongé de l'acier avec un aimant énergétique. (V. AIMANT ET AIMANTATION.)

FORCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE. — On constate que, dans presque tous les appareils d'utilisation de l'électricité, il se développe une force ÉLECTROMOTRICE dont l'effet est de sens contraire à celui de la force électromotrice du courant qui actionne les appareils : on l'a nommée force contre-électromotrice. Donnons quelques exemples :

Lorsqu'on décompose l'eau dans un VOLTAMÈTRE, outre l'affinité et la résistance spécifique de l'eau au passage du courant, ce dernier a encore à valancer une force électromotrice de sens contraire, développée par les couches d'hydrogène et d'oxygène à l'état naissant qui recouvrent les ÉLECTRODES.

Dans l'ARC VOLTAÏQUE on observe aussi une force contre-électromotrice signalée pour la première fois par Edlund, et dont la cause est encore peu connue. Elle provient probablement de l'électrolyse de l'oxyde de carbone. Suivant M. Gr. Roux (*Electricien*, n° 263), « sous l'influence du courant, l'oxyde de carbone est décomposé; le carbone se porte au pôle négatif et l'oxygène au pôle positif; la présence de l'oxygène au pôle positif a pour effet d'amener le charbon à une haute température et de produire une combustion rapide. Mais il faut bien remarquer que cette combinaison de l'oxygène avec le charbon ne détruit pas la force contre-électromotrice due à la décomposition de l'oxyde de carbone, parce qu'il se produit une action analogue, mais moins intense, au pôle négatif. En somme, l'électrolyse des gaz provenant de la combustion des charbons expliquerait la force contre-électromotrice de l'arc voltaïque; la température plus élevée du charbon positif; l'insure inégale des deux charbons; le transport du charbon sur le pôle négatif. »

Lorsqu'on fait fonctionner un MOTEUR ÉLECTRIQUE, le sens de sa rotation est tel que, s'il tournait sous l'action d'un moteur au lieu d'être mis en mouvement par l'électricité, il fournirait un courant de sens opposé à celui qui le fait tourner.

Signalons enfin les EXTRA-COURANTS de rupture dans les bobines d'ÉLECTRO-AIMANTS, les BOBINES D'INDUCTION, etc., qui sont aussi de sens contraire aux courants qui circulent dans ces bobines.

FORCE ÉLECTROMOTRICE. — On appelle force électromotrice la cause qui détermine l'écoulement de l'électricité dans un circuit. On la compare souvent à la pression que détermine dans une conduite d'eau l'action d'une pompe ou celle d'un réservoir élevé plein d'eau, avec lequel la conduite se trouverait en communication.

On sait que des MASSES ÉLECTRIQUES ne peuvent rester en équilibre, lorsque le corps qui les renferme est conducteur, que si le POTENTIEL est constant dans toutes les parties du conducteur. Mais s'il existe une différence de potentiel entre deux points considérés de ce conducteur, la distribution des quantités d'électricité se modifiera de telle façon que le potentiel devienne constant.

Si maintenant une cause quelconque, dite force électromotrice, maintient constante cette différence de potentiel, il y aura déplacement continu des masses électriques. C'est ce déplacement qui constitue le courant électrique.

Une force électromotrice se mesure par la différence de potentiel maximum qu'elle peut déterminer, ce qui arrive lorsque tout mouvement des masses électriques est rendu impossible, soit par la rupture

du conducteur, soit par l'action d'une force CONTRE-ÉLECTROMOTRICE égale.

Prenons une pile, c'est-à-dire un générateur d'électricité, et réunissons chacun de ses pôles par un conducteur métallique, il y aura circulation ou écoulement de l'électricité produite par la pile, du pôle positif au pôle négatif. Si on mesure le potentiel en chaque point du conducteur, on trouvera que le potentiel aura une valeur maximum au pôle + de la pile et une valeur minimum au pôle —. En un point quelconque du conducteur, le potentiel aura une valeur intermédiaire.

L'unité pratique de force électromotrice est le VOLT et correspond assez exactement aux 95/100 de la force électromotrice d'un élément Daniell.

FORCE MAGNÉTIQUE. — Forcé attractive des AIMANTS.

Force magnétique du globe terrestre. — On désigne sous ce nom la force magnétique qui dirige une aiguille aimantée librement suspendue par son centre. Son intensité s'obtient en mesurant la composante horizontale et la composante verticale. (V. MAGNÉTOMÈTRE et BOUSSOLE D'INCLINAISON.)

Dans les observations ordinaires, on mesure la composante horizontale et l'INCLINAISON, et on calcule la composante verticale. Dans les observatoires où on se sert d'appareils enregistreurs on mesure les composantes horizontale et verticale, et on calcule l'inclinaison.

La direction s'obtient en mesurant la DÉCLINAISON et l'inclinaison.

FOREUSE ÉLECTRIQUE. — Appareil mécanique employé pour le percement des mines et dans lequel la force qui détermine le mouvement du foret est transmise électriquement. M. Taverdon a imaginé une foreuse à rotation qui présente cette particularité intéressante que l'électricité y est non seulement utilisée pour la transmission de la force, mais aussi pour la fabrication des forets. Ces derniers sont munis à leur extrémité de diamants noirs qu'il importe de fixer solidement; à cet effet, on les recouvre préalablement, par voie d'électrolyse, d'une mince couche de cuivre. Cet enrobage permet l'application de la soudure et disparaît ensuite dans les parties où le diamant doit être actif. L'emploi des transmissions électriques pour actionner des outils devant fonctionner dans des galeries de mine présente sur tous les autres systèmes l'avantage de ne pas encombrer ces galeries.

FORMULE de mérite d'un galvanomètre. — Résistance du circuit qui, avec un élément Daniell, produit l'unité de déviation sur l'échelle divisée du GALVANOMÈTRE.

Foucault (Jean-Bernard-Léon), physicien et mécanicien français, né à Paris le 13 septembre 1819, mort le 13 février 1868. Il étudia d'abord la médecine, s'occupa de perfectionner les procédés de Daguerre, fut pendant trois ans préparateur du cours de microscopie médicale professé par M. Donné, travailla ensuite avec M. Fizeau et avec Arago. La Société royale de Londres lui décerna la grande médaille de Copley. Il fut nommé chevalier de la Légion d'honneur en 1850, physicien de l'Observatoire en 1855, membre titulaire du Bureau des longitudes et officier de la Légion d'honneur en 1862, enfin membre de l'Académie des Sciences en 1865, de l'Académie des Sciences de Berlin et de la Société royale de Londres. Il rédigea le

feuilleton scientifique du *Journal des Débats* depuis 1845. On a de lui plusieurs traités scientifiques qui font partie de la « Bibliothèque d'Instruction populaire ». Les mémoires relatifs à ses travaux se trouvent dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.

Les nombreuses inventions de Foucault portent toutes en elles un caractère d'originalité extrêmement remarquable; quelques-unes, par leur singularité nouvelle, décelent un génie extrêmement pénétrant et ont fait sur le public une impression profonde. Les instruments dont il a donné les modèles ont atteint une perfection inouïe et ont permis d'arriver à la mesure d'éléments qu'on pourrait presque appeler « infinitésimaux ». Nous n'avons à parler ici que de ce qui se rapporte à l'électricité.

Nous citerons d'abord les expériences sur la lumière électrique. Foucault a construit, pour les appareils destinés à fournir ce genre de lumière, des négligents, au moyen desquels on parvient à procurer une grande fixité au point lumineux en donnant un mouvement convenable à l'un des deux cônes de charbon. MM. Fizeau et Foucault ont cherché à comparer la lumière électrique à la lumière solaire, et, en prenant, pour mesurer leurs intensités, les effets chimiques qu'elles produisent sur l'iodure d'argent des plaques daguerriennes, ils ont trouvé que quarante-six COUPLES Bunsen fournissent un éclat représenté, par rapport à celui du soleil, par $\frac{235}{1000}$. Une autre expérience curieuse, relative aux appareils photo-électriques, est due à Foucault seul. En projetant, au moyen de lentilles, l'image du système des deux cônes de charbon sur l'écran d'une chambre noire, on peut observer, à l'aide du microscope, les effets physiques produits par le passage du courant. Le charbon NÉGATIF devient lumineux le premier, mais le charbon POSITIF l'emporte bientôt après en éclat; d'un autre côté, il s'établit, du charbon positif au charbon négatif, un transport continu de particules matérielles, par suite duquel le premier se creuse et diminue, tandis que le second augmente de volume (v. la fig. au mot ARC VOLTAÏQUE).

La Pile a encore fourni à Foucault le sujet d'une expérience qui est venue corroborer d'une façon remarquable les faits déjà acquis relativement à la transformation de la chaleur en mouvement, et réciproquement. Un disque de cuivre rouge engagé en partie dans l'intervalle compris entre deux pièces de fer doux, en contact avec les pôles d'un ÉLECTRO-AIMANT, pouvait recevoir d'un système de rouages, mû à la main à l'aide d'une manivelle, un mouvement de rotation de 450 à 200 tours par seconde. Tant que le courant n'est pas excité, la manivelle ne présente qu'une très faible résistance; au contraire, lorsque le courant passe, on sent une résistance considérable, et si l'on n'en continue pas moins à tourner, le disque s'échauffe très rapidement. Par exemple, trois couples de Bunsen ont suffi pour qu'en trois minutes la température du disque s'élevât de 40 à 60°. Six couples donnent lieu au développement d'une résistance qui fatigue bientôt l'opérateur. Ce phénomène est dû à des courants d'induction que l'on a nommés COURANTS DE FOUCAULT.

FOUCAULT (Courants de). — (V. COURANT.)

Foudre. — Phénomène électrique qui consiste en un trait de feu produisant une vive lumière, accompagnée d'une violente détonation et dont les effets sont souvent terribles. La foudre est un phénomène météorologique que l'on explique par la recombinaison des deux électricités de nom contraire (v. FLUIDE),

tandis que le TONNERRE est le bruit de l'explosion. On a donné diverses explications de ces phénomènes; elles sont plus ou moins discutées. Nous croyons cependant intéressant de les exposer ici, en complétant ainsi ce qui a été dit aux mots ATMOSPHÉRIQUE (*électrique*) et ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

« La première ÉTINCELLE électrique, tirée de l'ambre par Wall, fut immédiatement comparée aux éclats de la foudre. Cette lumière et ce craquement, dit Wall, paraissent en quelque façon représenter l'ÉCLAIR et le tonnerre. »

La même analogie se trouve exprimée dans les *Leçons de physique* de Nollet (1771). « Si quelqu'un, dit Nollet, après avoir comparé les phénomènes, entreprenait de prouver que le tonnerre est, entre les mains de la nature, ce que l'électricité est entre les nôtres; que ces merveilles, dont nous disposons maintenant à notre gré, sont de petites imitations de ces grands effets qui nous effrayent; que le tout dépend du même mécanisme; si l'on faisait voir qu'une nuée, préparée par l'action des vents, par la chaleur, par le mélange des exhalaisons, est, vis-à-vis d'un objet terrestre, ce qu'est un corps électrisé en présence et à une certaine proximité de celui qui ne l'est pas, j'avoue que cette idée, si elle était bien soutenue, me plairait beaucoup, et, pour la soutenir, combien de raisons superflues ne se présentent pas à un homme qui est au fait de l'électricité! »

Cette idée préoccupait, en effet, tous les physiciens du siècle dernier, et, le 7 novembre 1749, Franklin résumait sur son livre de Laboratoire toutes les analogies qu'on avait remarquées entre la foudre et le fluide électrique; mais le physicien américain, allant plus directement au but, ajoute: « Le fluide électrique est attiré par les pointes. Nous ne savons pas si la foudre a cette propriété; il serait à propos d'en faire l'expérience. » Quelques mois après, Franklin développait complètement ses opinions sur l'origine de la foudre dans deux lettres adressées à B. Collinson (*Œuvres de Franklin*, traduction de Barben-Dubourg, Paris, 1773). Il était tellement convaincu de l'exactitude de ses opinions, qu'il indiquait un moyen de préserver de la foudre les églises, les maisons, les vaisseaux, etc. Cette partie de sa lettre est une description succincte du paratonnerre, tel qu'on le construit de nos jours; mais, avant tout, Franklin voulait qu'on s'assurât directement si les nuées orageuses sont électrisées ou non; il exposait d'une manière complète le procédé expérimental qui devait servir à vérifier cette grande question, et, tout en invitant les physiciens à tenter l'expérience, il attendait, pour l'exécuter lui-même, la construction projetée d'un clocher à Philadelphie.

Les idées de Franklin furent assez mal accueillies en Angleterre. Dalibard les réalisa, le 10 mai 1752, à Marly-la-Ville. Dans un jardin situé au milieu d'une plaine élevée, il fixa solidement sur un support isolé une barre de fer ronde de 6^m,027 de diamètre à la base, de 13 mètres de hauteur et terminée par une pointe d'acier trempé et poli. Au moment où des nuages orageux passèrent au zénith, la barre s'électrisa assez fortement pour donner de longues et brillantes étincelles. L'état électrique des nuages se trouvait ainsi démontré. Cette expérience fut répétée de toutes parts, et partout avec le même succès.

Dans le courant de la même année, Franklin, impatient des lenteurs apportées à la construction du clocher qu'il attendait, imagina qu'un cerf-volant pourrait lui servir au même usage, et, profitant du premier orage, il s'en fut dans les champs, seul avec son fils, « craignant le ridicule dont on ne manque pas de couvrir les essais infructueux ». Le cerf-volant fut lancé, la corde qui le retenait étant fixée au bout d'un sup-

port en verre. Un nuage qui promettait beaucoup ne produisit aucun effet. D'autres nuages s'avancèrent et tout paraissait tranquille; on ne voyait ni étincelle ni aucun signe électrique. A la fin, cependant, une pluie fine citta surveque, quelques filaments se soulevèrent sur la corde comme s'ils en eussent été repoussés. Un petit bruissement se fit entendre; Franklin présenta son doigt; une vive étincelle, bientôt suivie de plusieurs autres, s'échappa de l'extrémité inférieure de l'appareil, rendu conducteur de l'électricité par l'eau qu'il avait reçue. Cette expérience eut lieu en juin 1752.

En juin 1753, un magistrat français, de Romas, assesseur au présidial de Nérac, connaissant l'expérience de Dalibard, mais ignorant encore l'expérience de Franklin, eut, comme ce dernier, l'idée de se servir d'un cerf-volant. Il eut soin de garnir d'un fil métallique la corde de son instrument et obtint immédiatement des étincelles électriques très énergiques. Il répéta cette expérience en 1757, pendant un orage; les effets furent formidables. « Imaginez-vous voir, dit de Romas, des lames de feu, de neuf ou dix pieds de longueur et d'un pouce de grosseur, qui faisaient autant et plus de bruit que des coups de pistolet. En moins d'une heure, j'en eus certainement trente de cette dimension, sans compter mille autres de sept pieds et au-dessous. » Malgré ses précautions, il fut une fois renversé par la violence du choc. Richmann, de l'Académie de Saint-Petersbourg, fut foudroyé en réplétant l'expérience de Dalibard. (*Météorologie*, par Marié-Davy, Paris, 1866.)

L'atmosphère est toujours électrisée positivement (v. ATMOSPHÉRIQUE (*électrique*)). Les nuages doivent donc être aussi, pour la plupart, chargés d'électricité positive; mais il y a aussi des nuages électrisés négativement. « Sous l'influence de l'électricité positive de l'air, le sol s'électrise négativement sur tous ses points en saillie, et particulièrement sur les sommets des montagnes. Souvent, on voit des nuages s'approcher vivement d'un pic élevé, s'y arrêter quelque temps, puis s'en détacher, pour suivre le mouvement général de l'atmosphère. Le nuage positif a d'abord été attiré par le pic électrisé d'une manière opposée; il en est repoussé, lorsque, par son contact, il s'est électrisé négativement comme lui. Les nuages qui, formés par les bruyllards des vallées, suivent les rampes des montagnes, en s'élevant dans l'atmosphère sous l'influence des courants ascendants, et qui semblent accrochés, pendant plusieurs heures, à leurs sommets, peuvent aussi s'électriser négativement. D'un autre côté, on remarque fréquemment dans l'atmosphère plusieurs couches de nuages superposés. Les nuages inférieurs étant placés entre des nuages positifs et la surface négative du sol, leur électricité positive, repoussée par le haut, attirée par le bas, se posera sur la face inférieure du nuage et disparaîtra emportée par la première pluie. Ces nuages se déchargeront donc progressivement d'un côté, tandis que, de l'autre, ils se chargeront, par influence, d'une manière opposée, c'est-à-dire négativement. Quelle que soit leur origine, ces nuages négatifs sont entraînés par les vents, pélemêle avec les nuages positifs; les uns et les autres portent leur influence partout où ils passent. C'est à la proximité des nuages inversement électrisés que sont dus la plupart des orages. » (*Marié-Davy*.)

On n'est pas entièrement d'accord sur l'origine de l'électricité dans les nuages orageux. Suivant certains savants, le développement de l'électricité est dû à la condensation de la vapeur d'eau; d'autres savants contestent au contraire cette assertion. Ainsi, en 1799, Volta en condensant de la vapeur d'eau à 85° ou 70° Réaumur, a constaté, au moyen de son électro-

score, une faible trace d'électricité. Théodore de Sausure et Reich, en 1788, firent la même expérience et n'obtinrent aucun phénomène électrique en condensant de la vapeur d'eau. Le Dr Palmieri dit qu'il a obtenu, en condensant au-dessus d'un vase de platine de la vapeur d'eau portée à une haute température, et constaté à l'électroscope condensateur de l'électricité positive de faible tension (1862). M. Kalischer a, au contraire, condensé de la vapeur d'eau à la température ambiante au-dessus d'un corps plus froid, et il a conclu de ces expériences, qui ont été faites en 1883, que la condensation de la vapeur contenue dans l'atmosphère ne dégage pas d'électricité. M. Landerer affirme le contraire. (Académie des Sciences de Naples, 1883.)

Enfin, M. le Dr Magrini, en répétant avec quelques modifications les expériences du professeur Palmieri, prétend que la condensation de la vapeur d'eau ne développe pas trace d'électricité, et il conclut de ses expériences que le dégagement d'électricité observé par M. Palmieri était probablement dû au frottement, ou à l'introduction de la glace dans la capsule de platine ou devait s'effectuer la condensation. (*Nuovo cimento*, vol. XX, fascicule de juillet-août 1886.)

Nous croyons intéressant de résumer aussi la communication faite en 1886 par M. Colladon à l'Académie des Sciences sur ce même sujet.

Contrairement à l'avis de M. Palmieri, qui attribue l'abondante production d'électricité dans les nuages orageux à la condensation, réunissant les particules aqueuses en gouttes de pluie, et qui en conclut que tout nuage se résolvant en pluie est une source continue d'électricité, M. Colladon, d'accord avec M. Faye, explique la production de l'électricité par un appel continu des couches d'air supérieures aux nuées orageuses.

« Toute chute d'eau à peu près verticale produit un vent consécutif dirigé vers le sol. On sait aussi que toute cascade produit un violent courant d'air descendant, qui, s'établissant sur le sol, donne naissance à ce que l'on a appelé le vent des cascades, vent qui, pour de fortes chutes d'eau, constitue, dans certains cas, un véritable ouragan vers le pied de la chute. De même, chaque goutte de pluie est l'origine d'un courant d'air élémentaire vertical, qui prend naissance là où la pluie commence à tomber, c'est-à-dire dans l'intérieur du nuage. Plus la goutte de pluie a de volume, plus ce courant d'air élémentaire est notable. Toute averse entraîne donc nécessairement avec elle un vent descendant, dont le lieu de départ ou d'origine se trouve dans le sein même du nuage où s'engendrent les gouttes de pluie; l'intensité de ce vent augmente avec la force de l'averse. D'un autre côté, comme la pluie ne cesse d'agir de haut en bas sur l'air qu'elle a entraîné qu'au moment où elle atteint le sol, c'est là seulement que cet air sera rendu libre et s'échappera latéralement sans avoir la possibilité de remonter au nuage d'où il est descendu. Il se produira donc dans ce nuage et aux sources mêmes où se forme la pluie une notable dépression atmosphérique, qui doit forcément être compensée par un appel d'air étranger. Cet appel ne peut venir que latéralement ou supérieurement, mais le diamètre de la colonne pluvieuse empêche toute action latérale. La dépression au sein du nuage n'est donc comblée que par un flux d'air attiré de la couche atmosphérique supérieure au nuage.

« Or, il est universellement reconnu que cette couche d'air est en toute saison électrisée positivement par rapport au sol. Aussi lorsque les nuées pluvieuses seront très denses et élevées, ce qui arrive fréquemment en été, l'air attiré des zones supérieures devra-

til apporter avec lui une provision constamment renouvelée d'électricité positive, d'aiguilles de glace et de petits globules d'eau à l'état de surfusion.

« Ce mélange d'aiguilles de glace et de globules d'eau au-dessous de zéro sera plus que suffisant pour contre-balancer le réchauffement de l'air supérieur que produirait son augmentation de densité, et la température moyenne du nuage pluvieux pourrait s'abaisser notablement au-dessous de zéro.

« Ces considérations théoriques sont suffisantes, dans tous les cas où l'on ne peut admettre l'existence d'une vaste trombe entraînant vers le sol les couches supérieures de l'atmosphère, pour expliquer ces deux phénomènes météorologiques dont la cause est restée si longtemps obscure, savoir :

« 1° Le renouvellement rapide de la tension électrique dans la plupart des nuages orageux, malgré les décharges continues de leur électricité dans le sol, soit qu'elles se manifestent par une suite d'éclairs et de coups de foudre, soit qu'elles se fassent d'une manière invisible, par suite de la grande conductibilité électrique de l'air inférieur fortement chargé de pluie et d'humidité;

« 2° La formation accidentelle des grains de grésil ou des grêlons qui apparaissent surtout dans les mois de juillet et d'août, lorsque les nuées ont leur maximum de densité et d'élévation. On sait, en effet, que dans la saison chaude, les nuées orageuses ont, en général, leur partie supérieure élevée à plus de 3.000 mètres, et l'on a constaté des cas où cette élévation dépassait 5.000 mètres. »

En résumé, suivant M. Colladon, il y a dans le nuage pluvieux un appel d'air qui se produit latéralement si la colonne d'eau a un diamètre restreint et supérieurement si elle couvre une grande surface; dans ce dernier cas, il y a production d'électricité, l'air attiré venant de zones où il se trouve constamment chargé d'électricité négative.

Sans rien préjuger des découvertes à venir sur les causes de l'électricité atmosphérique, nous croyons que chacune de celles signalées jusqu'ici est également admissible, et que vraisemblablement elles coopèrent toutes aux résultats constatés. Ce qui est certain, c'est qu'il y a, dans les régions supérieures de l'atmosphère, des nuages chargés d'électricité positive et d'autres nuages chargés d'électricité négative. Lorsque des nuages, ainsi électrisés différemment, se rencontrent, ils s'opèrent entre eux des décharges de fluide, d'où résultent les phénomènes du tonnerre, des éclairs et de la foudre.

Le tonnerre est produit par l'ébranlement de l'air, l'éclair par l'étincelle électrique, et la foudre est le nom donné à l'éclair lorsqu'il descend jusqu'à terre.

Si un physicien pouvait avoir à sa disposition des électroscopes de plusieurs lieux d'étendue et d'épaisseur, il pourrait reproduire tous les phénomènes électriques de la nature.

Accidents produits par la foudre. —

« Quelque bizarre que paraisse le chemin parcouru par la foudre, on peut être assuré qu'elle a suivi la voie offrant le minimum de résistance à sa marche. Les métaux étant, de tous les corps, les meilleurs conducteurs, c'est à eux qu'elle s'attache de préférence; mais elle les quitte chaque fois qu'elle trouve à leur extrémité une résistance supérieure à celle que présentent les corps voisins. Après les métaux viennent les corps humides... »

Pour que la foudre tombe, il faut que le nuage orageux ait été abaissé près du sol. Tous les points de la surface terrestre sont alors fortement électrisés par influence. L'électricité qu'ils contiennent, opposée

à celle du nuage, est attirée par cette dernière et se porte sur les points en relief. Elle y attire à son tour l'électricité du nuage et favorise sa décharge. Aussi les arbres sont-ils le plus exposés aux atteintes de la foudre, et parmi eux ceux qui sont les plus fournis de sève, dont le feuillage est le plus abondant, dont les racines plongent le plus profondément dans le sol, et qui garnissent les terrains les plus humides.

Mais qu'un remous du vent abaisse un lambeau de nuage, et la foudre éclatera, en apparence contre toutes les règles, en un point où les circonstances les plus désavantageuses sembleront réunies; l'influence de la distance devient accidentellement prépondérante.

Lorsque la foudre rencontre sur son chemin un corps lui faisant obstacle par son défaut de conductibilité, elle le contourne, et l'accroissement de résistance provenant de ce détour est moindre que la résistance du corps; dans le cas contraire, elle perce l'obstacle, le brise et quelquefois le disperse au loin. Son passage est toujours marqué par une production de chaleur en rapport avec la somme de résistance vaincue. Les métaux, corps bons conducteurs, sont à peine échauffés si leur section est suffisante; mais, s'ils offrent à l'électricité une route trop étroite, ils peuvent être volatilisés. C'est l'effet ordinairement produit sur les arbres frappés par le tonnerre; la sève, réduite en vapeur au milieu des tissus de l'arbre, dans sa partie la plus étranglée, ordinairement le tronc, le fait éclater et le réduit en espèces de filaments comme des allumettes...

Des effets d'une aussi grande énergie expliquent aisément l'action exercée par la foudre sur l'homme. Les effets de la foudre paraissent souvent singuliers au premier abord, mais on s'en rend compte dans la plupart des cas, lorsqu'on examine sérieusement les circonstances dans lesquelles ils se sont produits. Ainsi nous citerons un exemple destiné à mettre sur la voie des explications que l'on peut se donner à soi-même. Il y a un certain nombre d'années la foudre tomba dans une église pendant la célébration de la messe. La foudre avait d'abord frappé le clocher qui était le point le plus élevé du village et qui se terminait par une flèche métallique. Elle avait ensuite parcouru l'église en décrivant des circuits singuliers, et était arrivée à l'autel. Le célébrant ne fut pas atteint, mais le diacre fut asphyxié. C'est qu'il portait une étole brodée d'un galon métallique, tandis que le célébrant, qui se trouvait tout auprès, était protégé par une chasuble de soie dont les galons étaient également en soie brodée. Il était, de plus, protégé par la proximité des vases sacrés. Cependant le célébrant fut renversé, et un de ses souliers fut transporté fort loin de là. Ce fait s'explique facilement, car on remarqua qu'entre des clous, il y avait à ce soulier une boucle d'argent.

En 1887, M. Debar a entretenu la Société des ingénieurs civils d'un phénomène électrique assez remarquable, tant par les circonstances dans lesquelles il s'est produit que par sa puissance destructive.

Le 9 janvier 1887, dit M. Debar, à dix heures et demie du soir, le temps était d'un calme parfait, état assez rare sur nos côtes de la Manche; aucun des indices habituels ne décelait la proximité d'un orage, quand tout à coup, le gaz s'éteignant, un immense éclair brilla suivi d'une brusque, violente et courte détonation, semblable à celle d'un immense fourneau de mine, puis tout rentre aussitôt dans un silence absolu.

Extinction du gaz, éclair, explosion, tout cela n'a pas duré deux secondes. La grande et belle cheminée

des aciéries de Fécamp venait d'être foudroyée et littéralement détruite. C'était une cheminée de 30 mètres de hauteur, 3 mètres de diamètre extérieur à la base, au-dessus du socle, 1^m,60 de diamètre intérieur à la base, 0^m,92 de diamètre intérieur au sommet, et magnifiquement construite. Placé à 70 mètres environ du point foudroyé, je n'avais perçu aucun bruit particulier de nature à me faire soupçonner un tel effondrement, j'en ai été prévenu quelques instants après par un passant. L'aspect des lieux était lamentable, 48 mètres de cheminée entièrement disparus et le reste à l'état de ruine fantastique à démolir, tout un ensemble de bâtiments ébranlés par la chute des matériaux éparpillés de toutes parts, plusieurs maisons voisines fortement endommagées, les conduites publiques d'eau et de gaz croisées à 100 mètres de distance. Tel est le bilan des principaux dégâts produits par le coup de foudre. Quant aux toitures, volets et vitres brisées par les projections dans un vaste rayon, il faut renoncer à en faire le compte. Tout le quartier présentait l'aspect d'une ville violemment bombardée.

« La caractéristique de cette explosion de la foudre a été son instantanéité et sa puissance brisante.

« Sur une vaste étendue au nord-est, le sol était jonché de briques pulvérisées ou brisées, depuis la grosseur d'un pois jusqu'à celle d'une demi-brique; on se serait cru sur un champ d'éruption volcanique. Les projections ont eu lieu dans cette direction jusqu'à plus de 400 mètres de distance. Un bateau amarré sur une bouée au milieu de l'avant-port recevait sur son tillac une grêle de projectiles, à la grande stupefaction de son équipage.

« Sur le tronçon de cheminée encore debout, on voyait, à 6 mètres environ au-dessus de la base, deux arrachements diamétralement opposés, indiquant bien nettement l'action d'une décharge électrique.

« Je suis porté à croire, jusqu'à un certain point, qu'il y a eu soulèvement de la masse supérieure et, au même instant, décharge électrique brisante une grande partie des matériaux et les projetant au loin. L'état de division de la matière paraîtrait confirmer cette hypothèse.

« Pour compléter, je dois ajouter que notre cheminée n'était pas munie de paratonnerre; presque toutes celles de la région sont dans le même cas. Mais dans l'espèce un paratonnerre aurait-il eu une efficacité suffisante?

« Il est probable que l'accident est dû au phénomène que l'on appelle tonnerre en boule ou foudre globulaire; quelqu'un a remarqué, peu de temps avant le coup de foudre, un gros nuage noir planant au-dessus de l'usine, et plusieurs personnes ont vu une boule de feu sortir de ce nuage et entrer dans la cheminée, à l'intérieur de laquelle elle a probablement fait explosion, ce qui explique les projections violentes qui se sont produites. »

« A propos de la relation de cet accident, M. Colladon a fait remarquer qu'il n'est ni unique ni exceptionnel. « On trouve dans les œuvres d'Arago, tome IV, pages 125 à 128; dans le traité d'Auguste de La Rive, tome III, pages 162 à 165, etc., des effets aussi prodigieux de destructions de bâtiments et de clochers produits par un seul coup de foudre. — Ainsi, en 1718, un coup de foudre fit sauter le toit et les murailles de l'église de Gouesnon, près de Brest, comme aurait fait une mine; des pierres furent lancées dans tous les sens jusqu'à 50 mètres. En 1762, la foudre tomba sur le clocher de Breug (Cornouailles); la tourelle en maçonnerie fut brisée en centaines de morceaux, une pierre d'un quintal et demi fut lancée à 55 mètres de distance, une autre à 364 mètres.

« En 1809, près de Manchester, un petit bâtiment en briques, servant à emmagasiner du charbon de terre, ayant des murs de 0^m,90 d'épaisseur et de 3^m,60 de hauteur, supportant une citerne, fut soulevé en masse et transporté à 3 mètres de distance moyenne; la portion transportée pesait 26,000 kilogrammes. »

M. Colladon a décrit, dans un mémoire publié en 1875, dans les *Bulletins de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève*, des effets de la foudre sur les arbres, des effets de dispersion de très gros fragments de bois projetés à plus de 50 mètres de distance.

Voici un dernier exemple :

« Le 24 avril 1887, à Morléze (Orne), éclata, entre trois et sept heures du soir un orage d'une violence extrême qui donna naissance à une série de phénomènes curieux :

« Le fil télégraphique, à 1 kilomètre du bourg, fut haché sur une longueur de 150 mètres; les morceaux en étaient calcinés et semblaient avoir été soumis au feu d'une forge, certains d'entre eux furent pliés et leurs branches soudées entre elles. Les poteaux et les isolateurs ne furent pas endommagés. Les grands arbres qui bordent la route et qui ne sont qu'à 2 mètres à peine de la ligne furent épargnés. L'un d'eux présentait cependant des écorchures sur l'écorce du tronc; la terre autour des racines était labourée et comme trouée avec le bout d'une canne. Au bureau du télégraphe, la receveuse avait mis son PARATONNERRE à la terre; malgré cette précaution, il se produisit dans la pile une décharge accompagnée d'une vive lumière et comparable à une détonation d'arme à feu, mais qui n'occasionna aucun dérangement.

« La section de conducteur détruite était située à la croisée de deux chemins. En face du point de rupture, la foudre pénétra par la cheminée dans une maison et sortit dans la rue en perçant un mur en briques de trois trous, au ras du sol. Durant ce trajet, elle déplaça une chaudière. La maçonnerie perforée était couverte de plâtre extérieurement; de nombreux morceaux de cet enduit furent détachés, puis projetés contre un carreau d'une maison située en face de la première, de l'autre côté de la route. Derrière cette habitation une personne était dans une étable et se disposait à traire une vache. Une boue de feu entre par la porte, passe entre les jambes de l'animal et disparaît sans laisser de trace et sans causer de dégâts. La vache, mugit affreusement et sous l'influence de la peur ou d'une commotion, elle se dressa sur ses pattes de derrière et engagea celles de devant dans les barreaux de son râtelier. Quant à son maître, il abandonna seau, lait et le reste, et vint presque s'évanouir dans les bras de sa famille. Il n'avait d'ailleurs aucun mal.

« Enfin, des fragments de pierres incandescentes tombèrent en assez grande quantité devant une maison voisine, au moment où avaient lieu les effets décrits ci-dessus. Quelques-uns de ces fragments, gros comme une noix, sont d'une matière très peu dense, d'un blanc grisâtre et qui s'écrase facilement sous le doigt en dégageant une odeur de soufre bien caractérisée. Les autres, plus petits, ont l'aspect de coke. Pendant cet orage, les coups de tonnerre n'étaient pas précédés des roulements habituels. Ils éclataient brusquement comme des décharges de mousqueterie et se succédaient à de courts intervalles. La grêle tombait en abondance et la température était fort basse. » (Académie des Sciences, séance du 23 mai 1887.)

De tous ces exemples il faut conclure qu'il est absolument indispensable de ramener les hautes cheminées d'usines d'excellents PARATONNERRES.

M. Boudin, médecin en chef de l'hôpital de Saint-

Martin, a présenté en 1865, à l'Académie des Sciences, une statistique des accidents causés par le tonnerre. Dans la période comprise entre les années 1835 et 1863, c'est-à-dire en vingt-neuf ans, on a compté en France 2 235 personnes tuées par la foudre, ce qui donne une moyenne de 77 victimes par an.

Le maximum annuel a été de 111, le minimum de 48. Si l'on joint le nombre des blessés à celui des morts, le nombre total des victimes de la foudre, pour la période qui nous occupe, dépasse 6.700, et la moyenne est par an de 230.

Les personnes du sexe féminin paraissent beaucoup plus à l'abri des atteintes du fluide que celles du sexe masculin; ce résultat a été attribué à l'influence des vêtements de soie, plus communs chez les femmes que chez les hommes.

M. Boudin a cité deux personnes qui ont été frappées plusieurs fois par la foudre; l'une d'elle a été visitée trois fois par la foudre, dans trois logements différents.

Le quart des personnes foudroyées a été atteint sous des arbres; de sorte que près de 1.700 personnes auraient pu éviter la mort ou de graves blessures en fuyant le voisinage des arbres pendant l'orage.

Si l'on répartit les accidents du tonnerre suivant les localités où ils se sont produits, on constate que les départements montagneux, tels que la Lozère, la Haute-Loire, les Hautes-Alpes, la Savoie, la Haute-Savoie, l'Isère, sont ceux qui fournissent les plus forts contingents, tandis que les plus épargnés sont les pays de plaines : la Manche, l'Orne, l'Eure, la Seine, le Calvados.

Le même statisticien a relevé également un certain nombre d'observations qui tendraient à démontrer que les objets frappés par la foudre peuvent rester chargés d'électricité pendant quelque temps, comme une BOUTEILLE de LEYDE, et, par suite, conserver pendant ce temps la faculté de foudroyer les objets environnants.

M. Flammarion, dans son journal *Astronomie*, indique que de 1835 à 1883 la foudre a tué, en France, 4 669 personnes, soit une moyenne annuelle de 160 victimes environ. C'est en 1874 que l'on a compté le plus grand nombre de personnes tuées, 178. Viennent ensuite les années 1868 avec 168 victimes; 1880 avec 147; 1883 avec 143; 1865 avec 110. Ces années ont eu des étés chauds et orageux. Par contre les années les moins éprouvées en décès par la foudre sont : 1813 avec 48; 1853 avec 50; 1860 avec 51; 1854 avec 52; 1851 avec 54. Le nombre indiqué ci-dessus est celui des personnes tuées sur le coup; le nombre des blessés est à peu près le même, et celui des personnes atteintes, sans autre mal que l'émotion, serait cinq fois plus élevé.

La foudre peut tuer un individu subitement. Son corps reste alors dans un état de convulsion tétanique et acquiert très vite la rigidité cadavérique. Il conserve, en outre, de l'électricité comme une bouteille de Leyde, et Boudin a vu des hommes relevant un individu foudroyé recevoir une décharge électrique très forte.

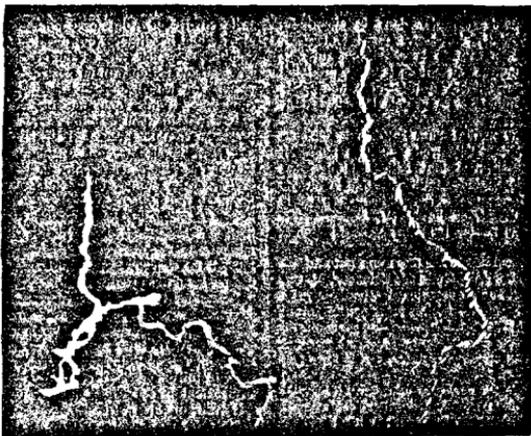
Les effets de la foudre varient suivant que la personne est frappée par la décharge ou par le choc en retour. Les lésions observées consistent en brûlures et déchirures en général, mais pas toujours, superficielles et insuffisantes pour expliquer la mort. Celle-ci survient tantôt subitement, tantôt après une agonie plus ou moins longue. Un certain nombre de foudroyés guérissent. La cause de la mort paraît devoir être attribuée surtout à la brusque suspension des fonctions du bulbe. Quelques auteurs font intervenir

le développement de gaz dans le sang. On a parfois constaté sur la peau des personnes tuées par la foudre des dessins divers tracés par la brûlure. Ces dessins paraissent être de deux sortes. Dans les uns, on voit reproduits la forme et le contour des objets voisins du corps au moment de la décharge. Il y a là un transport par l'électricité identique à celui qu'on réalise dans certaines expériences. Dans les autres, on trouve des ramifications arborescentes. On a d'abord voulu les expliquer en y cherchant la reproduction des végétaux qui pouvaient se trouver à proximité. Il est plus rationnel d'y voir la forme même de la décharge telle que M. G. Planté l'obtient, en recevant sur des plaques de résine l'étincelle de sa MACHINE TÉLÉSTATIQUE.

Lorsque la mort n'est pas instantanée, les symp-

tômes observés sont ceux du choc traumatique. Des individus ont été atteints partiellement, sans présenter de signes de commotion. Le rétablissement peut s'effectuer très vite, sinon il se développe des affections diverses. Tantôt c'est une névropathie, c'est-à-dire un état de faiblesse et d'irritabilité pour la guérison duquel l'électricité elle-même, sous forme de BAIN ÉLECTRIQUE, peut être employée avec succès (R. Vigouroux); tantôt c'est une affection locale, consistant en paralysie de la sensibilité et du mouvement. M. Noltingel, qui a étudié ces affections, les a reproduites chez les animaux au moyen de la bouteille de Leyde (*Archives de Virchow*, 1880).

Nous constatons leur identité avec les affections hystéro-traumatiques qui ont été décrites récemment par le professeur Charcot.



Foudre en spirales (D'après Flammarion, « Astronomie populaire ».)

Foudre globulaire ou Éclair en boule.

C'est à proprement parler un globe de feu plus ou moins gros qui apparaît dans des cas très rares au milieu d'un orage, et dont la couleur est généralement rouge, qui se meut lentement dans l'espace et même quelquefois à une très petite distance du sol, qui dans certains cas s'évanouit sans produire aucun bruit et qui, dans d'autres cas, détone avec fracas en lançant latéralement des éclairs en zigzag.

Plusieurs personnes avaient signalé l'existence de la foudre globulaire et disaient l'avoir aperçue, mais les faits racontés par elles étaient en tel désaccord avec la théorie qui établissait l'identité de la foudre et de l'étincelle électrique, que l'on prenait ces récits pour des exagérations.

On fut bien forcé d'y ajouter foi quand Arago signala ces singuliers phénomènes en apportant de nombreuses preuves à l'appui.

Nous reproduisons ci-dessous un fait frappant raconté par M. Babinet.

« Voici, en peu de mots, le récit de l'ouvrier dans la chambre duquel le tonnerre en boule descendit pour remonter ensuite. Après un assez fort coup de tonnerre, mais non immédiatement après, cet ouvrier,

dont la profession est celle de tailleur, étant assis auprès de sa table et finissant de prendre son repas, vit tout à coup le chassis garni de papier qui fermait la cheminée s'abattre, comme renversée par un coup de vent assez modéré, et un globe de feu gros comme la tête d'un enfant sortir doucement de la cheminée et se promener lentement par la chambre à peu de hauteur des briques du pavé. L'aspect du globe de feu était encore, suivant l'expression de l'ouvrier tailleur, celui d'un jeune chat de grosseur moyenne pelotonné sur lui-même et se mouvant sans être porté par ses pattes.

Le globe de feu était plutôt brillant et lumineux qu'il ne semblait chaud et enflammé, et l'ouvrier n'eut aucune sensation de chaleur, ce globe s'approcha de ses pieds, comme un jeune chat qui vient jouer et se frotter aux jambes suivant l'habitude de ces animaux; mais l'ouvrier écarta les pieds, et par plusieurs mouvements de précaution, mais tous exécutés, suivant lui, très doucement, il évita le contact du météore. Celui-ci paraît être resté plusieurs secondes autour des pieds de l'ouvrier assis, qui l'examinait attentivement penché en avant et au-dessus.

« Après avoir essayé quelques excursions dans divers sens, sans cependant quitter le milieu de la chambre, le globe de feu s'éleva verticalement à la hauteur de la tête de l'ouvrier qui, pour éviter d'être touché au visage, et en même temps pour suivre des yeux le météore, se redressa en se renversant sur sa chaise.

« Arrivé à la hauteur d'environ 1 mètre au-dessus du pavé, le globe de feu s'allongea un peu, et se dirigea obliquement vers un trou percé dans la cheminée, environ à 1 mètre au-dessus de la tablette de cette cheminée. Ce trou avait servi à faire passer le tuyau d'un poêle qui, avait été utilisé pendant l'hiver. Mais suivant l'expression de l'ouvrier, le tonnerre ne pouvait le voir, car il était fermé par du papier collé dessus. Le globe de feu alla droit à ce trou, décolla le papier sans l'endommager et remonta dans la cheminée; alors, suivant le dire du témoin, après avoir pris le temps de remonter dans la cheminée, du train dont il allait, c'est-à-dire assez lentement, le tonnerre arriva au haut de la cheminée, qui était au moins à 20 mètres du sol de la cour, produisit une explosion épouvantable, qui détruisit une partie du faite de la cheminée et en projeta les débris dans la cour. »

M. Planté, on se servant d'une batterie de 800 couples secondaires, dont l'électrode positive plongeait dans de l'eau distillée, et dont l'électrode négative était approchée de quelques millimètres de la surface de cette eau, est parvenu à reproduire en petit le phénomène de l'éclair en boule. (V. *Lumière électrique* des 18 et 25 février 1882. *Du Moncel*.)

Foudre en spirale. — Dans une note adressée le 12 mai 1886, à l'Académie des Sciences, M. Ch. Moussette rapporte qu'en examinant attentivement à la loupe une photographie d'éclair prise par lui durant l'orage du 12 mai 1886 il a découvert une particularité importante : les étincelles éclatant de nuage à terre, et constituant ce qu'on appelle la foudre, ont la forme de spirales irrégulières.

Deux éclairs saisis à quelques minutes d'intervalle et fixés sur le même cliché, présentent cet aspect; toutefois l'enroulement de leurs spires n'est pas de même sens : l'étincelle sinuée à droite de l'image est *dextrorsum*; celle de gauche est *sinistrorsum* dans la branche verticale, *dextrorsum* dans la branche arquée en retour.

L'écartement des spires est variable durant le trajet; tantôt il dépasse plusieurs diamètres; tantôt il paraît moindre qu'un diamètre. M. Moussette présume que cette irrégularité est due à la variabilité de résistance des couches aériennes traversées, suivant leur température et leur degré d'humidité. L'aspect de ces éclairs rappelle celui que présentent de nuit les pièces d'artifice dont le mouvement de translation est accompagné d'un mouvement giratoire. M. Moussette est donc porté à considérer la spirale lumineuse tracée par l'éclair sur sa plaque sensible, comme la trajectoire de la foudre globale, dont les belles expériences de M. Planté ont reproduit et démontré le mouvement giratoire.

FOURNEAU ÉLECTRIQUE. — Appareil employé en électro-métallurgie pour produire d'une façon économique l'aluminium en traitant l'alumine. (V. *ÉLECTRO-MÉTALLURGIE*.)

Franklin (Benjamin), philosophe et homme d'État américain, l'un des fondateurs de l'indépendance des États-Unis, et un des hommes qui font le plus d'honneur, non seulement à leur pays, mais à

l'humanité tout entière; né à Boston en 1706, mort à Philadelphie le 17 avril 1790. Son père, fabricant de chandelles, chargé de famille, ne le laissa fréquenter une école primaire que pendant un an, 1715, puis voulut lui apprendre son métier. Mais l'enfant voulait être marin; pour changer ses idées on le mit chez un coutelier; mais Benjamin Franklin se prit du goût de la lecture; il fut alors mis en apprentissage comme simple ouvrier chez un de ses frères, James Franklin. Il continua à étudier seul, et acquit une grande habileté de parole et de raisonnement qui mettait en relief la simplicité de la forme. Il participa à la fondation d'un journal édité par son frère, et commença ainsi à s'acquérir la considération générale. Mais il devint suspect à l'autorité métropolitaine, dut quitter sa ville natale, se rendit à New-York, où il ne put trouver d'emploi, puis à Philadelphie, où il ne connaissait personne. Il avait alors dix-sept ans. Il fut ensuite envoyé en Angleterre pour chercher les matériaux d'une imprimerie qui devait se fonder à Philadelphie; mais, par suite d'une erreur dans les lettres de recommandation qui lui avaient été remises, il dut prendre du travail chez un imprimeur. De retour en Amérique, il entra dans une imprimerie à Philadelphie et parvint, peu de temps après, à en fonder une pour son compte, grâce à la généreuse coopération d'un ami, appelé Mercedith. Leur maison devint bientôt une des plus considérables de la ville. Il se maria. C'est de cette époque que date sa carrière publique. En 1732, il fit paraître, pour la première fois, *l'Almanach du bonhomme Richard*, sorte de publication utilitaire, à laquelle il dut la moitié de sa popularité; membre de l'assemblée générale de Pensylvanie en 1736, il fut chargé, l'année suivante, de la direction des postes de la province.

Lorsqu'en 1714 le gouvernement britannique, en désaccord avec les populations, se montra impuissant à organiser la défense contre les incursions des Français du Canada, 10.000 volontaires, sur l'initiative de Franklin, s'entendirent pour marcher. On voulut alors faire de lui un général, mais les sciences physiques absorbaient en ce moment toute son attention.

Il avait, dit M. L. Figuier, dans son *Exposition des principales découvertes modernes* (Paris, 1858, ouvrage resté inachevé), établi à Philadelphie une petite société littéraire et scientifique, à laquelle Pierre Collinson, membre de la Société royale de Londres, adressa la description raisonnée des nouvelles expériences électriques, qui occupaient alors toutes les Académies de l'Europe, et quelques instruments pour exécuter les principales de ces expériences. Il en tenta d'autres, qui sont consignées, ainsi que les découvertes qui en furent la suite, dans une série de lettres adressées par Franklin à Collinson, et qui ont été réimprimées plusieurs fois. La première est du 28 juillet 1747.

Dufay, pour expliquer les phénomènes généraux de l'électricité, avait admis l'existence de deux espèces de fluide : *l'électricité vitrée* et *l'électricité résineuse*.

L'existence de ces deux fluides opposés ne parut pas à Franklin en harmonie avec la simplicité des moyens que la nature met en jeu. Il n'admettait qu'un seul fluide, homogène dans son essence et répandu dans tous les corps : *ses molécules se repoussent mutuellement, et il a lui-même de l'attraction pour la matière*. Dans les conditions ordinaires, aucun corps ne semble contenir de fluide électrique, et ne paraît électrisé; il est à l'état naturel; mais dès qu'une cause, telle que le frottement, a déterminé dans ce corps la rupture de l'équilibre naturel, les attractions pour le fluide électrique du corps frottant et du corps frotté

perdent leur rapport primitif d'égalité. L'un se charge d'une surabondance de fluide, l'autre en perd une partie. C'est cet excès ou ce défaut de fluide qui constitue le corps frottant et le corps frotté dans deux états d'électricité différents, et qui leur donne la propriété de manifester des effets électriques opposés. Quand un corps renferme de l'électricité en excès, Franklin dit qu'il est électrisé *positivement* (+), si l'électricité s'y montre en défaut, il est électrisé *négativement* (-).

Il semble aujourd'hui démontré que les phénomènes électriques sont dus à des vibrations. (V. ATTRACTION ET CORRELATION DES FORCES PHYSIQUES.)

Franklin donna l'explication des effets de la bouteille de Leyde, et inventa l'expérience connue sous le nom d'ARAIGNÉE DE FRANKLIN; avec le concours de Vrinnesley, « son ingénieur voisin », comme il l'appelle lui-même, il exécuta pour la première fois le tube étincelant, le CARILION ÉLECTRIQUE, le CARREAU MAGIQUE, le perce-carte, le perce-verre.

En même temps que les physiiciens d'Europe, Franklin fut frappé des analogies que présentent la foudre et l'électricité. C'est lui qui, le premier, mit bien en évidence, par des expériences positives, ce fait, découvert par Dufay, que les pointes jouissent de la propriété de déterminer à distance l'écoulement lent de l'électricité atmosphérique. Franklin entrevit la possibilité de neutraliser, à l'aide de ce moyen, les désastres causés par la foudre. La difficulté était de s'assurer si l'électricité reconnue par les savants était identique à celle des nuages. Pour cette expérience intéressante, Franklin se servit d'un cerf-volant. Tant que la corde resta sèche, aucun résultat ne se produisit; mais une pluie légère l'ayant mouillée, et, par conséquent, rendue conductrice, le phénomène que cherchait Franklin eut lieu : une clef qu'il avait attachée au bout de la corde donna des étincelles électriques. Il conçut immédiatement le projet du paratonnerre.

Nous devons dire que la première idée du cerf-volant n'appartient pas sans conteste à Franklin, mais peut-être à Romas. L'ouvrage déjà cité de M. L. Fugier contient à cet égard des détails intéressants.

L'invention du paratonnerre, qui aurait suffi à la gloire d'un savant, ne fut qu'un incident dans la vie de Franklin. Il s'occupa de la fondation d'écoles, fut nommé, en 1753, directeur général des postes pour toutes les colonies anglaises, prit part, à l'âge de cinquante ans, à une guerre contre les Indiens, fut chargé d'une importante mission diplomatique en Angleterre. Ce n'est pas ici qu'il convient de rapporter en détail la part qu'il prit à l'indépendance des États-Unis, dont il proclama la déclaration le 4 juillet 1776. On lui confia ensuite le soin de conclure une alliance avec la cour de Versailles. Il fréquenta, pendant le séjour qu'il fit en France à cette occasion, le salon de Mme Helvétius, où il vécut dans l'intimité des littérateurs et des philosophes les plus distingués, parmi lesquels se trouvait Turgot, auteur d'un vers célèbre à la louange de Franklin.

Le texte primitif de ce vers, d'après Vieq d'Azyr, était :

Eripuit celo fulmen, mox sceptrum tyrannis.

Après le triomphe des armées américaines, ce texte fut modifié et devint :

Eripuit celo fulmen sceptrumque tyrannis.

« Il arracha la foudre au ciel et le sceptre aux tyrans. »

Quand Franklin mourut, le Congrès américain or-

onna, dans l'étendue des quatorze cantons confédérés, un deuil de deux mois. Sur la proposition de Mirabeau, l'Assemblée nationale de France porta le deuil trois jours.

FRANKLINISATION ou Électrisation statique. — Une des trois méthodes d'électrisation. C'est celle où l'on emploie l'électricité fournie par les MACHINES ÉLECTRIQUES proprement dites, soit à frottement soit à influence. Le nom de *franklinisation* ou *franklinisme* n'est pas encore adopté en France; il est très usité en Amérique et en Angleterre. Parmi les raisons qui militent en sa faveur on peut invoquer l'analogie. Les noms des deux autres méthodes principales sont, en effet, dérivés de ceux de grands électriciens : *galvanisation*, *faradisation* (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE). Un autre avantage est qu'il ne comporte qu'un mot. Un troisième, plus sérieux, est qu'il ne circonscrit pas inexactement le sujet comme le fait la qualification de statique. Quoi qu'il en soit, nous emploierons indifféremment les deux désignations, tout en reconnaissant qu'une troisième serait peut-être meilleure : celle d'*électrisation à haut potentiel*; mais celle-ci a le tort d'être trop longue.

Les premières applications qui aient été faites de l'électricité ont été médicales. L'électrisation statique, qui a pris naissance il y a près de cent cinquante ans, est donc la première en date. Rapidement perfectionnée, grâce au progrès des machines électriques, elle avait acquis une grande importance thérapeutique (travaux de Louis, de Haën, Cavallo, Mauduyt, etc.), lorsque la découverte de la pile, avec les espérances qu'elle suscita, vint la rejeter dans l'ombre. D'autres causes contribuèrent encore à sa décadence ainsi qu'on le verra à l'article THÉRAPEUTIQUE. L'électrisation statique était complètement oubliée ou dédaignée, au moins par la science officielle, quand le Dr R. Vigouroux en reprit l'étude en 1877 à la Salpêtrière. Frappé des résultats obtenus dans un grand nombre de maladies, il s'attacha à modifier l'opinion générale, et dès le début il put s'appuyer de l'autorité du professeur Charcot. Cependant les efforts du Dr R. Vigouroux ne furent pas immédiatement couronnés de succès. Ainsi au Congrès international des électriciens, en 1881, la section médicale traite longuement la question des mesures en électrothérapie et le mot d'électricité statique n'y fut pas même prononcé.

Actuellement, grâce à l'exemple et à l'enseignement de la Salpêtrière, la machine électrique a repris sa place dans le matériel de l'électrothérapie. — Dans cet article on traitera les procédés de franklinisation au point de vue physique.

1° **Bain électrique.** — La personne qui doit être électrisée prend place sur le tabouret isolant. Elle conserve ses vêtements; il est préférable que ceux-ci soient en laine, mais la soie teinte, surtout en noir, permet également l'électrisation. Par contre, les vêtements ouatés sont gênants. Une tringle métallique accrochée au conducteur de la machine repose par son extrémité sur le tabouret et établit la communication. Les anciens électriciens plaçaient le bout de la tringle dans la main du malade, ce qui présente plusieurs inconvénients. Dès que la machine fonctionne, le tabouret et par conséquent le malade se trouvent électrisés comme le conducteur même, dont ils peuvent être considérés comme un prolongement. En d'autres termes, ils sont chargés et constituent une des armatures d'un conducteur dont l'autre armature est représentée par les parois de la salle, le diélectrique étant l'air interposé.

Toutefois le phénomène n'est pas simple : la charge communiquée au tabouret et au patient par la machine tend à se dissiper par diverses voies. Ainsi l'air s'électrise au contact du corps électrisé et en s'éloignant diminue la charge par convection. Les poussières en suspension dans l'air jouent le même rôle. Une autre portion de la charge s'écoule par les diverses saillies des vêtements ou du corps faisant office de pointes. Une autre encore fuit par la couche d'humidité qu'il est presque impossible de supprimer sur les pieds de verre et qui établit une communication entre le tabouret et le sol. Enfin, à défaut de toutes ces causes, existerait encore la conduction par les pieds isolants, dont la résistance ne peut être considérée comme infinie. D'ailleurs, si la première charge une fois produite se maintenait intégralement, la machine, bien que continuant à tourner, ne produirait plus d'électricité, parce que les plateaux et le peigne seraient au même POTENTIEL; on peut se convaincre que tel n'est pas le cas en constatant que les aiguilles continuent à jaillir des dents du peigne.

De tout cela résultent deux conséquences : d'abord que les perles sont réparées aussitôt par la machine, lorsqu'elles ne sont pas supérieures à son débit; ensuite que la condition d'un corps ainsi électrisé est à la fois celle d'un corps chargé dont l'électricité réside à la surface et celle d'un conducteur traversé par une décharge qui se fait par toute sa section.

Ici, sans doute, la décharge est minime; il n'en est pas moins vrai que le simple bain électrique implique des effets dynamiques aussi bien que statiques. Conséquence intéressante pour l'explication de l'action physiologique du bain et qui montre en passant le défaut de propriété du terme électrisation statique.

Avant d'aller plus loin il est bon de préciser un détail important. Nous avons dit, pour simplifier, que le corps de la personne électrisée se trouve au même potentiel que le conducteur de la machine. Cela n'est pas absolument exact. Il faudrait pour cela que la résistance électrique du patient fût la même que celle du conducteur, ce qui évidemment ne peut pas être. On n'a pas l'habitude en électricité statique de faire entrer la résistance en ligne de compte, parce que dans les expériences on emploie toujours des conducteurs métalliques, c'est-à-dire de résistance sensiblement uniforme pour l'électricité de haut potentiel, ce qui permet de déduire leur capacité absolue de leur forme et de leurs dimensions. Mais quand il s'agit de conducteurs non métalliques la résistance doit intervenir. Aussi le patient placé sur un tabouret électrique ne prend-il pas la même charge qu'un bloc de métal de même figure et, en particulier, plusieurs malades électrisés sur le même tabouret ne le seront qu'en raison inverse de leur résistance individuelle. Ce fait, non encore signalé, explique, suivant M. R. Vigouroux, au moins en partie, la tolérance très diverse des malades pour des doses d'électrisation en apparence égales. Le même auteur a constaté que dans certains cas où la résistance est diminuée d'une façon morbide (le gotte exophtalmique par exemple), le simple bain électrique n'est pas supporté; tandis que dans certains autres où elle est très augmentée (comme l'hystérie) le bain électrique de la même machine doit être prolongé pendant des heures pour donner ses effets habituels. M. R. Vigouroux déduit de ces considérations la règle de mesurer, suivant le procédé qu'il a indiqué (v. RÉSISTANCE), la résistance électrique des malades, préalablement à tout traitement électro-

statique. Cela éviterait des tâtonnements et des mécomptes.

Pour apprécier rigoureusement l'état électrique du patient, il faut encore observer la manière dont est établi le contact entre son corps et le conducteur de la machine. Ce contact est-il direct, ou a-t-il simplement lieu par l'intermédiaire du bois du tabouret, des chaussures, des vêtements? etc.

A considérer principalement la décharge continue représentée par la déperdition, on est amené à regarder la machine électrique comme analogue, quant à la portion extérieure du circuit, à une pile de force électromotrice énorme, mais ayant à vaincre une résistance extérieure non moins colossale.

On peut encore se faire une idée, peut-être plus frappante, des conditions physiques du bain électrique en recourant à la théorie de Faraday, c'est-à-dire en se représentant le trajet des LIGNES DE FORCE ou d'INDUCTION électro-statique; ou bien, suivant la forme donnée à cette théorie par Sprague, en traçant le circuit de polarisation. Ainsi, la personne placée sur le tabouret, et le tabouret lui-même formant un pôle de la machine, il s'agit de rechercher, dans l'espace qui sépare ce pôle de l'autre, c'est-à-dire du sol et des murs de la salle, le trajet des lignes de force ou des chaînes de molécules polarisées qui doivent les réunir. Suivant la convention adoptée, ces lignes partent de tous les points de la surface du pôle positif pour se rendre à celle du pôle négatif. Il est évident qu'elles seront plus nombreuses ou plus denses dans les portions de moindre résistance du circuit. Si, comme cela est souvent préférable, la plate-forme du tabouret est en métal, la majeure partie des lignes d'induction partiront de sa surface, et un moins grand nombre, d'autant moins grand que la résistance du patient sera plus considérable, partira de celui-ci.

Mais il ne faut pas perdre de vue que conjointement avec ces phénomènes statiques ont lieu des phénomènes dynamiques également essentiels.

Nous avons vu que la personne placée sur le tabouret représente une portion de l'armature d'un condensateur. Sa capacité varie donc avec la distance à laquelle elle peut se trouver des parois de la salle. Elle augmente si on approche du tabouret un conducteur en communication avec le sol, si par exemple un spectateur vient à proximité.

Ce sont là des faits d'influence bien connus, mais qu'il fallait rappeler à cause de leurs conséquences pratiques.

Telles sont les considérations physiques du bain électrique. Il est à peine nécessaire de faire remarquer qu'il n'a de commun que le nom avec l'arrangement où le malade est plongé dans un liquide parcouru par un courant. Celui-ci s'appelle plus justement bain hydro-électrique et pour mieux éviter la confusion nous avons proposé d'appeler le bain électrique proprement dit, que nous venons de décrire, bain électro-statique.

Les sensations ressenties pendant la durée du bain sont quelquefois nulles. Ordinairement on y éprouve celle bien connue de fils d'araignée flottant sur le visage et des chatouillements sur la tête; cela est dû au mouvement des cheveux qui se dressent normalement, et précisément dans la direction des lignes de force dont il vient d'être question. Quelques malades accusent une sensation de chaleur générale, etc. Pour les effets physiologiques et thérapeutiques, voir EFFETS PHYSIOLOGIQUES ET THÉRAPEUTIQUES. La durée d'un bain électrique varie de quelques minutes à plusieurs heures, selon les indications.

2° Souffle ou Vent électrique. — Le patient étant

dans le bain électrique, c'est-à-dire chargé comme il vient d'être dit, voyons ce qui se passe lorsqu'on approche de lui, mais pas assez pour provoquer une étincelle, un conducteur communiquant avec le sol. Ce conducteur prend par influence une charge de signe contraire, et la capacité du système constitué par le tabouret et le patient se trouve augmentée. En même temps la distribution de l'électricité à la surface est modifiée : la densité augmente considérablement dans les parties en regard. Si le conducteur est muni d'une pointe tournée vers le patient, il ne peut (en vertu du fait bien connu sous le nom de pouvoirs des pointes) conserver sa charge induite, et celle-ci vient neutraliser la plus grande partie de l'électricité du patient. Mais la production d'électricité par la machine est inessentielle, par conséquent la décharge de la pointe est continue. Cette décharge s'accompagne de phénomènes spéciaux. Si l'on opère dans l'obscurité, on voit à l'extrémité de la pointe une lueur sur laquelle nous rev'endrons. En outre, l'air électrisé au contact de la pointe est attiré par le corps de la personne électrisée et vient le frapper en y déterminant l'impression d'un courant d'air, frais ou tiède. Pour être tout à fait exact, il faut ajouter que la sensation est celle d'un fluide plus dense que l'air. Et cette sensation est perçue sur une surface d'autant plus étendue que la pointe est plus éloignée, parce que les molécules d'air électrisées se séparent et forment un cône, dont le sommet est à la pointe. Quant à la lueur de la pointe, elle diffère suivant le signe de l'électricité qui s'en échappe. On sait, et cela est d'ailleurs facile à constater par l'inspection des peignes de la machine, que dans l'obscurité la décharge d'une pointe positive a l'apparence d'un pinceau allongé de lumière violette, tandis que celle de la pointe négative ne donne qu'une petite étoile qui semble adhérer à son extrémité. De plus, la décharge de la pointe positive donne lieu à un bruissement beaucoup plus prononcé, et on peut s'assurer aussi qu'à distance égale elle est beaucoup plus apte que la négative à fournir le vent électrique. C'est même une des raisons qui peuvent faire préférer la charge négative pour le tabouret, parce qu'alors la pointe est positive. Ces différences donnent un moyen pratique très simple de reconnaître par comparaison le signe du tabouret, lorsqu'on se sert de machines à amorçage spontané, telles que celles de Voss et de Wimshurst.

On peut produire le vent électrique de plusieurs manières : par exemple en approchant le doigt étendu ; alors c'est l'ongle qui fait office de pointe. On remarquera dans ce cas un détail moins apparent avec les pointes métalliques. Pour obtenir le vent, il est nécessaire d'amener le doigt assez près du patient ; mais quand la décharge a commencé elle continue, bien qu'on augmente la distance. Ce procédé du doigt a l'inconvénient d'exposer à des étincelles qui surprennent désagréablement la personne électrisée et l'opérateur.

On peut encore tenir à la main un objet pointu quelconque, fait d'une matière conductrice, métal (clou, épingle) ou bois. Dans ce dernier cas le vent est plus faible.

L'emploi d'un EXCITATEUR est plus méthodique. La pointe, montée sur un manche isolant, est tenue de la main droite. De la gauche, on manœuvre le porte-chaîne, et on a soin que la chaîne soit en communication avec l'autre pôle de la machine, soit directement, soit par l'intermédiaire du sol. C'est ce qui est réalisé au moyen d'une bande métallique posée à terre et encastrant le tabouret. La chaîne doit traîner sur cette bande, laquelle est reliée à l'autre pôle ou, s'il s'agit d'une wimshurst, à l'axe

des plateaux. Cette disposition est commune à tous les procédés.

Pour le vent, la pointe doit être maintenue pendant un certain temps dans une situation fixe, en regard de la partie malade. Lorsque l'application doit être très très longue (elle peut être de deux heures et plus) on se sert d'une pointe montée sur un pied métallique, et pouvant être placée à la hauteur convenable au moyen d'une coulisse, en même temps qu'une articulation permet de lui donner l'inclinaison voulue. Les parties longuement frappées par le vent électrique se recouvrent d'une couche de poussière très apparente. La distance à laquelle il convient de placer la pointe est de 10 à 20, suivant l'effet à produire et la force de la machine.

3° *Aigrette*. — Si on approche davantage la pointe on voit, dans l'obscurité, le pinceau lumineux arriver au contact de la partie en regard ; on même temps la lueur bleu violet est sillonnée de traits rougeâtres, plus ou moins sinués et grêles, et le bruissement s'accompagne d'une fine crépitation. C'est l'*aigrette*. Ces particularités sont plus visibles lorsque la pointe est un peu moussée. On produit également l'aigrette avec une tige ou une boule de bois, ou avec une tige métallique à bout arrondi, maintenue à distance convenable. La sensation est celle de piqûres multiples, en général peu douloureuses. La peau est rubéfiée. La couleur de l'aigrette est violette près de l'excitateur et rougeâtre près de la peau.

4° *Étincelle*. — Si un excitateur, présentant une certaine surface, est porté brusquement à proximité de la personne électrisée, la décharge se fait sous forme d'étincelle plus ou moins longue et lumineuse. Elle éclate avec un bruit sec comparable au cliquetement d'un fouet ou à l'explosion d'une amorce. Sa couleur varie, comme on le sait, avec la substance des excitateurs. Les étincelles tirées de la peau, et en général des surfaces humides, sont rougeâtres. La sensation produite est celle d'une piqûre et surtout d'un choc. Il s'y joint le plus souvent celle de la secousse musculaire.

La longueur de l'étincelle est en rapport avec la *différence de potentiel*, ce qu'on appelle quelquefois la tension des pôles de la machine, sa grosseur avec la *quantité* d'électricité qui s'écoule dans la décharge. Son action physiologique dépend à la fois de ces deux éléments. Pour une allure donnée de la machine on règle la distance explosive, c'est-à-dire la longueur, en plaçant à distance convenable du tabouret une pointe communiquant avec le sol (soutape électrique de Mascart) ; ou bien, si l'on se sert d'une machine de Holtz, en munissant d'une pointe ou d'un balai la tige mobile qui sert à unir les deux pôles et en réglant l'écartement. Cette longueur est encore modifiée à volonté si, avant de présenter au malade la boule de l'excitateur, on approche plus ou moins du tabouret la chaîne traînante. Quant à la grosseur, pour une machine donnée, elle dépend de la capacité de l'excitateur ; on aura des étincelles plus rares, mais plus nourries, avec un excitateur à grosse boule.

Un moyen plus exact de graduer l'étincelle est fourni par l'électromètre de Lane qui consiste en une bouteille de Leyde avec armature extérieure munie d'une tige dont la distance au bouton de l'armature intérieure est réglable au moyen d'une vis micrométrique. Il suffit de placer cet instrument dans le circuit de la machine.

Les effets de la décharge par étincelles ne sont pas limités à la surface de la peau, ainsi que le témoignent la contraction des muscles plus ou moins profonds et l'excitation des troncs nerveux. Il est donc possible de pratiquer de cette manière la plupart des opérations de l'électrisation localisée. On leur donna

toute la précision désirable en recourant au *graduateur d'étincelles*, qui en outre supprime quelques inconvénients. En effet, lorsque l'étincelle doit être longue, on n'est jamais sûr qu'elle ira frapper l'endroit précis et parfois très limité que l'on a en vue. D'autre part, les étincelles que l'on fait ainsi éclater entre le corps du malade et une boule métallique, déterminent sur la peau des rougeurs papuleuses et une certaine cuisson. Lorsque le traitement exige que ces étincelles soient tirées fréquemment du même point, l'épiderme finit par s'épaissir et former une espèce de croûte. Le graduateur évite tout cela. C'est un tube tenu à la main par sa partie moyenne qui est en verre. Aux deux extrémités, des garnitures laissent passer des tiges métalliques, dont l'une, munie d'un pas de vis, est mobile. Dans l'intérieur du tube les deux tiges se terminent par des boules, dont on peut ainsi régler l'écartement. À l'extérieur, la tige fixe se termine aussi par une boule métallique ou une électrode quelconque, c'est celle que l'on appuie sur le point à exciter; la tige mobile porte un anneau auquel on attache la chaîne. Le mode d'emploi de l'instrument se comprend de lui-même. Quand les boules sont peu écartées, la succession des étincelles est rapide et produit une contraction plus ou moins soutenue. Mais quand on veut faire des étincelles plus rares et plus longues, il arrive souvent que la décharge se fait entre les pièces métalliques et la main de l'opérateur. M. R. Vigouroux préfère son excitateur à électrode fixe (dit en bec-de-cane), avec lequel on est absolument maître du nombre des excitations, et qui est d'un maniement plus commode.

5° *Friction électrique.* — Ce procédé consiste à passer plus ou moins rapidement, et d'une façon plus ou moins répétée, un excitateur de métal ou de bois sur tout le corps ou une partie du corps. La friction ne peut se faire qu'à travers les vêtements; si l'excitateur était directement en contact avec la peau, il n'y aurait pas de décharge possible. Tandis qu'à travers des étoffes (préférentiellement de laine), il se produit une multitude de petites étincelles, qui ont pour longueur l'épaisseur même du tissu, la sensation provoquée est celle d'une brûlure d'autant plus vive que la friction est plus lente, surtout avec l'excitateur de métal. La peau se reconvre d'un piqueté rouge, plus ou moins persistant, qui est dû aux nombreuses étincelles.

Tels sont les procédés les plus usuels de *franklinisation*. Les anciens électriciens les avaient beaucoup compliqués en variant sans nécessité la forme et la substance des excitateurs. Il suffit, à ce propos, de remarquer que la décharge est d'autant plus faible que la substance de l'excitateur est moins conductrice. Il sera donc facile, sans qu'il soit besoin de préceptes spéciaux, de faire par exemple un soufflet très faible avec une pointe d'ivoire ou de bois, etc. Les anciens employaient aussi des pinceaux de poil, des plumeaux, etc. On a aussi conseillé, en vue d'étendre le souffle électrique sur une plus grande surface, des instruments hérissés de pointes métalliques multiples. Mais on peut voir que dans ce cas la décharge se localise toujours dans la pointe la plus voisine du corps et que les autres sont inutiles. La même chose a lieu pour l'espèce de chapeau chinois qu'on a récemment imaginé en Allemagne de suspendre au-dessus de la tête du patient.

Une autre ancienne pratique, complètement illusoire, qui a survécu longtemps et reparait quelquefois, est celle des excitateurs médicamenteux. Pivali, de Venise, avait cru, sans preuves, au transport par la décharge et à l'introduction dans le corps du patient du médicament dont pouvait être pourvu l'excitateur; d'où instruments à valériane, musc, etc.

Reste à traiter l'importante question du dosage (V. MESURE). Jusqu'à présent il est absolument empirique et approximatif. Le médecin connaît sa machine; il sait, pour l'avoir essayé au besoin sur lui-même, quelle longueur, quelles qualités doivent avoir les étincelles, quelle vitesse de rotation est nécessaire, etc. Il arrive ainsi, sans une mesure directe pour laquelle, d'ailleurs, les méthodes expéditives font défaut, à graduer ses effets avec une précision suffisante. La franklinisation n'est pas, sous ce rapport, aussi inférieure à la galvanisation qu'on pourrait le croire sans avoir discuté la question. (V. MACHINES, MESURE, THÉRAPEUTIQUE.)

La plupart des opérations de l'électrisation statique peuvent se faire sans mettre le malade sur le tabouret, soit que l'opérateur y prenne place lui-même et dirige l'excitateur vers le malade, soit que celui-ci s'approche du conducteur ou du pôle de la machine. Dans ce dernier cas un excitateur à deux branches articulées (déchargeur) sera employé avec avantage.

Pour les excitations localisées on faisait usage autrefois et beaucoup plus que maintenant, parce que nos machines sont plus fortes, de la bouteille ou même de batteries de Leyde. Le procédé consiste à mettre une des armatures en contact avec le malade par une large plaque métallique appliquée à peu de distance du point que doit frapper la décharge, et à placer sur ce point une des boules d'un excitateur dont l'autre reçoit l'étincelle de la deuxième armature. On employait aussi de la même manière une bouteille de Lane, ce qui permettait de graduer le nombre et la force des étincelles. Nous nous sommes servi avec avantage de ce procédé dans certains cas où l'excitabilité était presque complètement abolie. (R. Vigouroux.)

FRAPPEUR DE CADENCE. — Organe du manipulateur du télégraphe à transmission multiple du système Baudot. (V. TÉLÉGRAPHE.)

FREIN ÉLECTRIQUE. — Frein dans le fonctionnement duquel intervient l'électricité. On peut diviser les freins électriques en deux catégories suivant le rôle que joue l'électricité, savoir :

1° Les freins à entraînement, dans lesquels l'électricité est seulement utilisée pour produire un déclenchement, l'énergie nécessaire pour produire le serrage étant empruntée à la force vive des roues du train;

2° Les freins dans lesquels cette énergie est entièrement empruntée à l'électricité.

1^{re} CATÉGORIE. — Freins à entraînement. — Ce genre de freins a été imaginé par M. Achard; il fut expérimenté en 1869. Il se composait d'un axe auxiliaire recevant son mouvement de l'essieu. A cet effet cet axe portait une roue dentée; d'autre part, sur l'essieu du wagon, se trouvait un excentrique qui, à chaque tour, soulevait un levier agissant sur la roue dentée de l'axe auxiliaire; cette roue avançait d'un cran à chaque tour, et l'axe auxiliaire tournait toujours dans le même sens (dans ce cas il rochet l'empêchant de tourner en sens inverse). Il portait calé sur lui un ÉLECTRO-AIMANT en forme de cylindre; de chaque côté de ce cylindre étaient deux plateaux qui en constituaient les ARMATURES. Les plateaux étaient reliés à deux manchons fous sur l'axe et formant treuils pour les deux chaînes qui actionnaient les freins. Cet appareil donna de bons résultats comme serrage, il était automatique; cependant il ne fut pas adopté parce qu'il se composait d'organes trop nombreux et trop délicats, et surtout parce que, à cette époque, la question des freins continus n'était pas mûre. Le levier dont il

a été parlé plus haut serait resté constamment en mouvement, mais on avait ajouté un deuxième électro-aimant pour suspendre son action pendant la marche du train.

En 1878, M. Achard présenta une modification consistant surtout dans l'emploi de deux galets de friction pour communiquer le mouvement de l'essieu à l'axe auxiliaire. L'appareil, malgré cette modification, présentait un grave inconvénient : organes en mouvement continu, usure rapide de ces organes et par suite frais d'entretien considérables.

M. Achard, dans ses expériences au chemin de fer du Nord, avait employé comme source d'électricité la pile secondaire ou ACCUMULATEUR de M. Planté. Les piles secondaires peuvent, comme on sait, emmagasiner une certaine quantité d'électricité. Pendant que le mécanicien ne se sert pas du frein, un petit nombre de couples Daniell chargent les piles secondaires. On utilise ainsi le temps pendant lequel le courant n'est pas employé pour emmagasiner l'électricité. Seulement il fallait un appareil à chaque wagon ou un wagon spécial contenant un très grand nombre de couples.

M. Achard a modifié comme suit son premier frein : l'électro-aimant cylindrique mobile autour de son axe est muni de frettes formant armatures à ses deux bases et suspendu en face de l'essieu. Quand on fait passer un courant dans cet électro, les armatures s'aimantent, se collent à l'essieu et sont entraînées dans son mouvement; il en résulte que l'on peut se servir de l'axe auxiliaire comme d'un treuil pour l'enroulement des chaînes. Feu M. Regray, ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer de l'Est français, a pensé, en outre, qu'une MACHINE DYNAMO ou MAGNÉTO électrique remplacerait avantageusement les piles secondaires qui ont un inconvénient : elles se déchargent assez rapidement, bien que M. Achard ait remédié en partie à ce défaut en augmentant convenablement la résistance des électro-aimants. De plus, il y a des bornes qui peuvent se desserrer et compromettre ainsi l'existence du courant au moment où l'on en a besoin. On a donc employé comme source d'électricité une MACHINE GRAMME dite machine d'atelier, placée sur le tender, mue par une machine à trois cylindres Brotherhood. Quand le mécanicien veut serrer le frein, il envoie de la vapeur dans la machine Brotherhood qui fait tourner la machine électrique et produit ainsi le serrage.

Si dans une pile électrique la force électromotrice dépend du nombre d'éléments et de la réaction chimique, il n'en est pas de même dans une machine électrique. Cette dernière a une force électromotrice qui dépend de la vitesse qu'on lui imprime : c'est pour cela que les machines électriques sont propres au serrage des freins à cause de leur simplicité. M. Regray avait essayé aussi de se passer de machine à vapeur et de faire fonctionner la machine Gramme par les roues du wagon lui-même. Pendant quelque temps on avait adopté cette idée; en effet, quand la vitesse est très grande, il faut un grand effort pour arrêter le train, et quand la vitesse diminue l'effort diminue. Si l'on fait fonctionner la machine Gramme par les roues du wagon, il est évident que sa force augmentera ou diminuera proportionnellement à la vitesse du train. Les premiers essais ont été satisfaisants, mais on marchait à une grande vitesse et, dans ce cas-là, on pouvait se passer de machine à vapeur. Cependant il arrivait parfois que, quand la vitesse était trop faible, la machine ne donnait rien; elle ne s'amorçait même pas. On a donc renoncé à cette solution et on est revenu à l'emploi de la ma-

chine Brotherhood. Les résultats ont été excellents. La machine Brotherhood est toujours en pression; on l'empêche de tourner à l'aide d'un petit frein; il n'y a pas à craindre de condensation. Le frein a été reconnu puissant, modérable, d'une construction facile et peut-être plus énergique que les freins à air comprimé ou à vide (Westinghouse et Smith). Le frein n'est pas automatique, mais on pourrait le rendre automatique à l'aide d'accumulateurs. On a obtenu des arrêts variant de 150 à 250 mètres, avec des vitesses de 60 à 100 kilomètres à l'heure.

M. Weissebruck, dans son rapport sur l'Électricité appliquée aux chemins de fer au Congrès international tenu à Bruxelles lors du Cinquantenaire des chemins de fer belges (1885), dit que les freins électriques du genre Regray, s'ils étaient perfectionnés, seraient supérieurs aux autres freins continus. La solution Achard Regray présente l'avantage d'utiliser la force vive gratuite du train et de n'exiger de l'électricité qu'un effort relativement faible; mais elle a l'inconvénient de conduire à l'emploi d'un attelage lourd et compliqué, d'une action souvent brutale, et d'exposer l'organe électrique à des chocs et à des frottements au contact même de pièces en pleine poussière.

Voici maintenant la description que fait M. Weissebruck des autres systèmes de freins électromagnétiques à embrayage.

Frein Olensted (1872-73), North London railway. — Il se compose d'un axe auxiliaire muni d'un galet de friction fixé sur cet axe et qui en est rendu solidaire lorsque le courant passe par les armatures d'électro-aimants portés par lui. — Cet arbre se met alors à tourner, et comme il sert de treuil aux chaînes de serrage le frein est mis en action. L'automatisme est obtenue au moyen de piles locales placées dans chaque voiture et aboutissant aux aimants par un commutateur fixé au plafond; ces piles sont mises en action par la corde d'intercommunication en cas de rupture de cette corde.

Frein Masui. — C'est le premier type de frein Achard dans lequel l'axe auxiliaire a été supprimé. Le cylindre magnétique est directement placé sur l'essieu ainsi que les manchettes qui servent de treuils aux chaînes.

Ces deux systèmes de freins ont été essayés, mais n'ont pas été appliqués.

2^e CATÉGORIE. — Freins à transport de force électrique. — Dans les freins rentrant dans cette catégorie on cherche à produire, au moyen d'électro-aimants, une action directe de serrage sur les sabots des roues. On a aussi utilisé l'adhérence de pôles d'électro-aimants sur les bandages et même sur les rails. Les freins agissant sur les rails ont depuis longtemps été condamnés comme dangereux, particulièrement aux croisements de voie. Dans les essais qui ont été tentés les autres n'ont donné qu'un serrage excessivement faible. Parmi les freins à transport de force électrique nous citerons ceux de MM. Sigmund von Sawieski, et de W. Siemens et A. Boothby.

Enfin M. Serliaux, sous-chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord, a sougé à munir chaque véhicule d'une petite machine dynamo-électrique, qui, actionnée par une machine génératrice installée sur la locomotive, est remplacé la main d'un serre-frein.

Des essais comparatifs sur les freins de différents systèmes ont été faits en 1887 en Amérique. Il ressort de ces expériences, dont le compte rendu a été publié par le *Railroad Gazette* (nos 20, 21 et suivants, an-

née 1887), que la rapidité d'action des freins électriques est plus grande que celle des freins Westinghouse. Voici d'ailleurs des chiffres caractéristiques. Un train

formé de cinquante wagons vides (marchandises) munis de freins à air commandés par l'électricité ou l'air comprimé ont été arrêtés sur les longueurs suivantes :

Vitesse à l'heure.....	32 km.	6½ ml.
Freins électriques (système Eames).....	74m,40	210m,60
Freins électriques (système Westinghouse).....	46m,50	173m,40
Freins électriques (système Carpentier).....	37m,20	152m,40
Freins à air (système Eames).....	102m,60	310m,80
Freins à air (système Westinghouse).....	81m,70	219m,60

Avec des freins électriques il n'y a pas eu de chocs sensibles, ce qui est expliqué par ce fait que le serrage est simultané de la tête à la queue du train.

FRICION ÉLECTRIQUE. — Action qui consiste à promener un corps électrisé à une très petite distance du corps humain recouvert de lanelle. (V. FRANKLINISATION.)

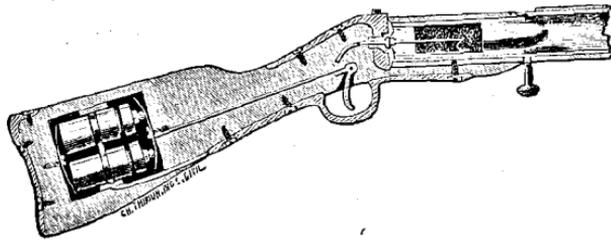
Froment (Paul-Gustave), ancien élève de l'École polytechnique, mécanicien distingué, né à Paris le 3 mars 1813, mort en février 1893. Son grand-père était horloger, et son père avait inventé une machine à tondre le drap ; il est donc croyable que les premières impressions qu'il reçut dans son enfance engendrèrent en lui cette passion irrésistible qui le portait à l'étude des mécanismes connus et à l'invention de ceux qui pouvaient être désirés. A dix-huit ans, Froment concevait l'idée de son premier électromoteur, et, deux ans après, il en présentait le dessin à M. Liouville, comme candidat à l'École polytechnique. Après un séjour de quelques années en Angleterre, où il était allé étudier la grande industrie, il entra, en 1849, dans l'atelier de Gambeypour s'y façonner à la construction des instruments de précision. Il construisit, en 1843, l'un des pre-

miers TÉLÉGRAPHES à cadran qu'on ait vus en France, un télégraphe à signaux conventionnels, analogue à celui de Morse, et un télégraphe à clavier. Il imaginait, vers la même époque, le mécanisme employé dans la construction des horloges électriques et celui des sonneries destinées à prévenir les surveillants des gares de chemins de fer de l'approche des trains.

Avant lui, on en était réduit à éclairer directement les réticules des lunettes astronomiques, pour les observations nocturnes ; il trouva le moyen de rendre les fils lumineux en y faisant passer un courant voltaïque.

Outre les inventions qui lui appartiennent en propre, Froment a contribué par ses soins et ses conseils à la réalisation des vœux d'un grand nombre d'ingénieurs et de mécaniciens. Ainsi, il s'est employé à faciliter la mise au jour du métier Bonelli, du télégraphe Caselli, du télégraphe Hughes, de la machine ÉLECTROTREUSE, du pendule électromobile, du CHRONOGAPHE de MM. Schultz et Lissajous, des appareils de M. Fizeau et de M. Foucault pour mesurer la vitesse de la lumière, des instruments giroscopiques de ce dernier, etc.

FUSIL ÉLECTRIQUE. — M. Trouvé a imaginé, en 1867, un fusil fonctionnant électriquement. Dans



la crosse du fusil se trouvent deux éléments de piles hermétiques au bisulfate de mercure (système Trouvé). Tant que le fusil est porté verticalement le liquide excitateur ne baigne pas le couple zinc et charbon ; lorsqu'on contraire on met on joue, la pile entre en activité. Il suffit alors de presser la détente pour fermer le circuit sur un fil de platine ou de fer placé à l'avant de la cartouche ; ce fil est ainsi porté à l'incandescence et détermine l'inflammation. On peut obtenir ainsi un tir assez rapide, 18 à 20 coups par minute, d'après M. Trouvé. Cette méthode d'explosion s'applique à tous les systèmes de fusil et à toutes espèces d'engins de destruction.

M. Pieper avait aussi exposé à Vienne (Autriche), en 1883, un fusil électrique fondé sur le même principe d'inflammation. Seulement la pile que M. Trouvé

place dans l'intérieur de la crosse est ici remplacée par un ACCUMULATEUR que le tireur porte sur lui. Il résulte des expériences faites en Autriche dans le courant de l'année 1883 qu'il est impossible d'appliquer cette invention aux armes de guerre.

FUSION PAR L'ÉLECTRICITÉ. — Emploi pour la fusion des corps de la chaleur qu'on peut obtenir par le passage d'un courant électrique. C'est Davy qui le premier a opéré la fusion, par l'électricité, de substances réputées jusque-là réfractaires, en les plaçant entre deux électrodes de charbon. Depuis, le physicien Grove a proposé d'appliquer cette méthode à la fusion des métaux : il plaçait le métal à fondre dans un creuset de charbon plongeant dans un bain de mercure et il recouvrait ce creuset d'une plaque

de charbon ; le bain de mercure d'une part, le couvercle de charbon de l'autre, étaient mis en communication avec les deux pôles d'une batterie composée d'un grand nombre d'éléments ; le creuset et le couvercle étaient ainsi portés à l'incandescence. Du Moncel signale l'emploi de l'électricité pour la fusion du platine, de l'iridium, de l'osmium, etc., et indique que l'opération doit se faire dans un creuset de charbon de corne. En 1853, M. Pichon imagina un fourneau électrique pour la fusion des métaux ; l'appareil se composait d'un creuset contenant deux électrodes reliées à une batterie de piles ; entre ces électrodes, placées en regard l'une de l'autre et à une faible distance, tombait le mélange de minerai et de charbon ; le métal fondu était reçu dans un réservoir placé sous les électrodes. Becquerel, Despretz, Dumas et Joule ont étudié spécialement les effets calorifiques des courants. Ce dernier physicien est

arrivé à cette conclusion que la transformation de la chaleur en électricité et de l'électricité en chaleur ne serait pas trop coûteuse eu égard aux résultats qu'on pourrait obtenir ; mais il n'a imaginé aucune disposition pratique au point de vue industriel. Depuis, M. Siemens a construit en 1878 un CREUSET OU FOURNEAU électrique décrit à l'article ÉLECTRO-MÉTALLURGIE. Nous citerons encore les appareils du même genre imaginés par MM. Faure, Fox, Lontin et Bertin à la même époque. En Amérique la Compagnie *Cowles* de Cleveland emploie l'électricité pour la fabrication du bronze d'aluminium et pour la fusion des métaux précieux. La question de la fusion par l'électricité mérite d'attirer l'attention des ingénieurs ; son étude pourra conduire à des méthodes métallurgiques intéressantes, surtout maintenant que l'on peut disposer de courants puissants fournis par les MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES.

G

Galiffe (Ladislas-Adolphe), ingénieur-constructeur électricien, né en 1832, mort à Paris le 9 avril 1887. Il a construit une quantité d'appareils électro-médicaux; a imaginé une lampe électrique à arc, une pile au sesquioxyle de fer et au chlorhydrate d'ammoniaque (en collaboration avec M. Clamond); a modifié la pile au chlorure d'argent; a imaginé un système d'allumage électrique de bees de gaz, appliqué à la Chambre des députés et au Sénat. Il a introduit en France les procédés de nickelage d'Isaac Adams, de Boston. Il a publié, en 1874, une *Notice* sur les appareils électro-médicaux.

GALVANOTYPIC. — Mot créé par M. Juncker fils pour désigner de nouveaux procédés galvaniques, et qui indique l'emploi du COURANT ÉLECTRIQUE et l'absence du moule (*galvano*, a privatif, et *typic*).

S'il s'agit d'obtenir un dépôt de cuivre sur un objet non-conducteur de l'électricité, et de formes peu délicates, statue, branche d'arbre, etc., on peut simplement l'enduire de plombagine qu'on étend en une couche extrêmement mince au moyen d'une brosse. Mais pour des feuilles, des insectes, des dentelles, ce procédé altérerait ou ferait même disparaître une partie des détails. On remplace alors le moyen mécanique par un moyen chimique qui consiste à étendre sur la surface à métalliser une solution d'azotate d'argent et à réduire ensuite le sel par l'action de la lumière, du gaz hydrogène sulfuré ou de la vapeur de sulfure de carbone phosphoré. On obtient ainsi une pellicule d'argent impalpable, mais conductrice et suffisamment adhérente pour supporter l'action du BAIN GALVANIQUE. Le dépôt de cuivre doit présenter une couche bien uniforme, assez résistante pour subir avec succès les opérations ultérieures, et assez mince pour conserver toute la finesse des détails.

La seconde opération consiste à retirer, soit en l'arrachant par morceaux, soit en le brûlant, l'objet ainsi recouvert, et à ne conserver que la coquille de cuivre qui le représente exactement; puis à la renforcer en y coulant un métal ou un alliage dont le point de fusion, bien entendu, soit inférieur au sien. La maison Christophic exploite depuis plusieurs années avec succès ces procédés pour les statuettes, les bustes, etc. M. Juncker les utilise spécialement pour la reproduction des plantes. Toutes les parties qui offrent une certaine épaisseur s'obtiennent assez facilement; mais il n'en est plus de même pour reproduire en ronde bosse les parties minces comme les feuilles et leur donner de la solidité. On tourne la difficulté en ce sens que les feuilles, dans les compositions artistiques où elles figurent, ne sont vues que d'un côté: alors on ne fait le dépôt de cuivre que sur le côté destiné à être vu. Lorsque la feuille a été enlevée, la pellicule de cuivre est renforcée par du métal coulé à l'épaisseur nécessaire, sans la déformer, sans nuire à la netteté des contours et sans nécessiter aucune retouche. Il y a là des procédés spéciaux dont

l'inventeur garde le secret. Tous ces éléments, groupés au gré du dessinateur, forment des compositions que l'on peut varier à l'infini.

Galvani (Aloysius), physicien célèbre et médecin, né à Bologne en 1737, mort dans cette ville en 1798. Tout d'abord il se voua avec passion à l'étude de la théologie, et serait entré dans un cloître si ses parents ne l'en avaient détourné en lui ouvrant la carrière médicale. En 1762, après une thèse fort remarquable sur la formation des os, il obtint la chaire d'anatomie de l'université de Bologne.

Un soir de l'année 1780, Galvani se trouvait dans son laboratoire, occupé, avec quelques amis, à répéter des expériences entreprises depuis longtemps sur l'irritabilité nerveuse des animaux à sang froid, et en particulier des grenouilles. On avait fait subir à la grenouille une préparation anatomique qui consistait: 1° à dépouiller rapidement de sa peau l'animal vivant; 2° à séparer d'un coup de ciseau les membres inférieurs de la partie supérieure du corps, en conservant seulement les deux nerfs de la cuisse, lesquels, étant respectés, servaient à maintenir, appendus par ce seul lien, les membres inférieurs de l'animal.

Dans le même laboratoire, un autre observateur était occupé, en même temps, à faire de son côté des expériences de physique au moyen d'une machine électrique ordinaire.

Nous croyons intéressant de donner le récit de ce qui se produisit (traduit par M. L. Figuière du mémoire latin de Galvani lui-même, publié à Bologne en 1790):

« Voici comment la chose se passa pour la première fois. Je disséquai une grenouille et la préparai comme l'indique la figure 2 de ce mémoire. Ensuite, me proposant tout autre chose, je la plaçai sur une table sur laquelle se trouvait une machine électrique. La grenouille n'était aucunement en contact avec le conducteur de la machine; elle en était même distante d'un assez long intervalle. Un de mes aides vint à approcher par hasard la pointe d'un scalpel des nerfs cruraux internes de cette grenouille et les toucha légèrement, et tout aussitôt tous les muscles des membres inférieurs se contractèrent comme s'ils avaient été subitement pris de convulsions tétaniques violentes. Cependant une personne qui était là présente (M^{me} Galvani) pendant que nous faisons des expériences avec la machine électrique, fut remarquer que le phénomène ne se produisait que lorsqu'on tirait une étincelle du conducteur. Emmerveillée de la nouveauté du fait, elle vint aussitôt m'en faire part. J'étais alors préoccupé de tout autre chose; mais pour de semblables recherches mon zèle est sans bornes, et je voulus aussi répéter par moi-même l'expérience et mettre au jour ce qu'elle pouvait présenter d'obscur. J'approchai donc moi-même la pointe de mon scalpel tantôt de l'un, tantôt de l'autre des nerfs cruraux,

tandis que l'une des personnes présentes tirait des étincelles de la machine. Le phénomène se produisit exactement de la même manière : au moment même où l'étincelle jaillissait, des contractions violentes se manifestaient dans chacun des muscles de la jambe, absolument comme si ma grenouille avait été prise de tétanos. »

Ce récit, d'une si grande clarté, permet de considérer comme découverte une anecdote où figure un bouillon de grenouilles, et qui n'a pas donné lieu à moins de vingt-deux variantes.

On répéta la même expérience; les mêmes nerfs furent touchés sur d'autres grenouilles tandis que la machine électrique était en repos, et les contractions n'eurent pas lieu. De ces expériences répétées un nombre infini de fois avec une méthode et une sagacité admirables, Galvani conclut que les animaux sont doués d'une électricité particulière, inhérente à leur économie. Il formula définitivement cette pensée, et lui donna pour ainsi dire une expression physique, en posant en principe que *le corps des animaux est une bouteille de Leyde organique*.

Cette théorie ne fut pas, comme on sait, adoptée par Volta, qui plaçait la source de l'électricité dans le contact des substances hétérogènes. (V. GALVANISME.)

Ni l'un ni l'autre n'était tout à fait dans le vrai, ni tout à fait dans le faux.

En effet, il est hors de doute aujourd'hui que les deux causes invoquées par les deux illustres adversaires coexistent; Malleucci, de La Rive et Du Bois-Reymond ont notamment démontré l'existence d'un courant propre dans les divers animaux.

Aussi, on a trop abaissé la gloire de Galvani qui a paru trop longtemps avoir subi une défaite dans la longue et mémorable lutte, absolument courtoise de part et d'autre, qu'il eut à soutenir contre Volta.

GALVANIQUE. — Qui a rapport au galvanisme.

GALVANISATION. — Action de galvaniser. (Méd.) Une des trois principales méthodes d'électrisation. Elle consiste à placer le corps du malade dans le circuit d'une PILE. Aussitôt après la découverte de la pile et avant même d'avoir reconnu l'identité des phénomènes qu'elle présente avec ceux des machines, on s'occupa de l'essayer comme agent de médication ou d'expérimentation physiologique. Aldini, genre de Galvani, publiait, dès 1804, un volumineux traité du galvanisme à ce point de vue. Cependant les résultats ne répondirent pas à l'attente générale et malgré les efforts de La Baume, en Angleterre, de Fabre-Palaprat, en France, le galvanisme ne fut pas admis comme moyen thérapeutique régulier. Il était à peu près complètement abandonné, ce qui n'a rien de surprenant si l'on songe à la pénurie des données physiques précises et à l'imperfection des appareils, lorsque, vers 1865, R. Remak, de Berlin, entreprit sa restauration. Son premier soin fut de soumettre ses essais à l'Académie des Sciences, qui les accueillit favorablement, et en 1858 il publia sa *Galvanothérapie*. L'œuvre de Remak, malgré des exagérations et des erreurs, contient des observations précieuses et des vues originales. Le galvanisme fut, après l'apparition du livre de Remak, préconisé en France par Hiffelsheim, puis par Legros et Olinus. Il ne tarda pas à prendre place à côté de la FARADISATION, florissante entre les mains de Duchenne de Boulogne. Bientôt systématisé et vulgarisé par des travaux innombrables, surtout de l'école allemande, il acquit une faveur qui semble aujourd'hui avoir dépassé son apogée.

Procédés. — Deux fils métalliques (anéro-

nes, conducteurs souples), recouverts d'une enveloppe isolante, sont fixés par une extrémité aux bornes de la pile. L'autre extrémité s'attache aux électrodes. Généralement celles-ci se composent d'un manche en bois terminé par un bouton ou une plaque de formes et de dimensions variables. Cette portion terminale de l'électrode est en métal (laiton ou nickel); elle est matelassée d'éponge ou de flanelle recouverte de linges. Tel est le genre d'électrode adopté en Allemagne. En France on préfère les électrodes en charbon de corne et on les revêt de peau de chamois. Le linges et la peau ont pour destination de retenir une certaine quantité d'eau qui humecte l'épiderme et assure un meilleur contact. Autrefois on croyait nécessaire d'employer de l'eau salée; l'eau simple est très suffisamment conductrice. Dans quelques applications une électrode seule est en forme de bouton et tenue à la main, l'autre est une plaque plus ou moins large fixée par une bande.

Les électrodes étant en place, on met dans le circuit le nombre voulu de COUPLES, au moyen du collecteur (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE), et on laisse passer le courant pendant un certain temps. C'est ce que les Allemands appellent *galvanisation stable* (stable). Si, au contraire, on déplace plus ou moins rapidement les électrodes en promenant l'une d'elles ou toutes deux sur la région, on fait de la galvanisation *labile*, toujours suivant la même terminologie. Ces distinctions n'ont plus grande valeur. On sait que le courant n'atteint son régime constant qu'après un certain temps (de une à plusieurs minutes), qui diffère d'un sujet à l'autre. On peut alternativement interrompre et rétablir le courant au moyen du *mainteneur*. Cela se fait surtout lorsqu'il s'agit de provoquer des réactions nerveuses ou musculaires. Enfin, on a quelquefois à produire des inversions brusques du courant, *alternatives, voltaïques*. Dans tous ces cas plusieurs conditions sont à considérer.

1^o Intensité du courant. — Elle est donnée par la formule de Ohm et doit être vérifiée à chaque instant au GALVANOMÈTRE. On l'évalue habituellement en millièmes d'AMPÈRE, ou mieux, suivant R. Vigouroux, en dix-millièmes. Le maximum, qui ne peut être supporté plus de quelques secondes, est 200 dix-millièmes. Les forces les plus ordinairement employées varient de 40 à 80 dix-millièmes. Ce n'est que dans ces derniers temps, on aura peine à le croire, que l'usage des galvanostats est devenu général. Et même quelques médecins trouvent encore que le galvanostate est une complication inutile et préfèrent estimer l'intensité d'après le nombre des couples. Le galvanostate est évidemment indispensable, car la résistance étant très différente suivant les individus et chez le même individu suivant les régions, et pour la même région suivant le moment de l'opération, on voit qu'une intensité donnée peut être fournie par des nombres très divers de couples.

2^o Énergie du courant. — Dans une récente communication à la Société de Biologie, M. R. Vigouroux a montré que la méthode usuelle de tenir compte seulement de l'intensité en faisant abstraction de la FORCE ÉLECTROMOTRICE, ne donne aucune indication sur l'énergie. Il a, en conséquence, proposé de noter simultanément l'intensité et la force électromotrice, celle-ci devant être évaluée non d'après le nombre des éléments, mais à l'aide du VOLTMÈTRE. (V. TABLE D'ÉLECTROTHERAPIE.)

3^o Densité du courant. — La portion du corps comprise entre les électrodes représente un conducteur de très grande section. La densité du courant y est donc très diminuée; son maximum se trouve aux

points d'entrée et de sortie du courant, c'est-à-dire au voisinage immédiat des électrodes. D'où la nécessité de placer celles-ci le plus près possible des organes sur lesquels on veut agir. Le trajet exact du courant dans la masse des tissus ne peut pas être déterminé; cela n'a rien d'étonnant, si on se représente l'enchevêtrement de substances de conductibilités différentes qui constituent le corps humain. Les figures schématiques données par quelques auteurs supposent que le corps est un conducteur homogène. Elles ne répondent à aucune réalité, car le seul point dont on soit certain est précisément que les choses ne se comportent pas ainsi.

4^e Effets physiques et physiologiques. — Dans son passage à travers l'économie, le courant donne lieu à des effets physiologiques (v. *PHYSIOLOGIE, RÉACTIONS*), et des effets mécaniques thermiques et chimiques (v. *ÉLECTROLYSE*). On n'est pas encore fixé sur la part respective qui revient à ces diverses actions dans les résultats physiologiques et thérapeutiques donnés par le courant. Romak avait plus ou moins nettement en vue l'action osmoseuse en parlant des effets catalytiques. Les premiers expérimentateurs étaient fréquemment surpris par les effets chimiques, et les cicatrices provenant d'escarres quelquefois étendues étaient un témoignage assez ordinaire du traitement galvanique. De tels accidents sont rares maintenant; ils ne seraient d'ailleurs plus excusables.

GALVANISER. — *Méd. Galvaniser un malade* (v. *GALVANISATION*). — Soumettre à l'action galvanique d'une pile, en parlant d'un cadavre auquel on imprime ainsi des mouvements convulsifs. « Se dit aussi de l'action de recouvrir mécaniquement d'une couche de zinc les fils télégraphiques et les objets en fer exposés à l'action de l'air humide. Dans ce dernier sens cette expression n'est pas exacte, puisque le courant galvanique n'intervient pas.

GALVANISME. — Classe de phénomènes électriques qui consistent en des mouvements rapides de contraction et de distension, produits sur les muscles soit par le contact des muscles et des nerfs, soit par l'effet d'un courant transmis par un conducteur métallique; électricité développée par des actions chimiques.

Dès 1767, Solzer avait fait la remarque qu'en plaçant une lame de zinc sur une des faces de la langue et une lame d'argent sur la face opposée, on percevait une saveur piquante, accompagnée d'une lueur qui passait devant les yeux chaque fois que ces deux lames étaient mises en contact. Les mêmes résultats peuvent être obtenus en se servant de zinc et de cuivre. La saveur qui se développe alors est due aux principes acides et alcalins que le courant met à nu, en décomposant les sécrétions salivaires. On a, depuis cette époque, répété cette expérience de plusieurs manières: ainsi, on a déterminé l'apparence lumineuse en appliquant l'une des lames à chacun des yeux, ou l'une à l'un des yeux et l'autre dans les fosses nasales, ou l'une à la langue et l'autre aux gencives supérieures.

Galvani observa, en 1780, qu'une grenouille fraîchement écorchée, que, par hasard, il avait déposée sur une table, près d'une machine électrique, faisait des mouvements convulsifs quand il approchait son scalpel des nerfs cruraux de l'animal, en même temps que l'une des personnes présentes tirait une étincelle. Quelques années plus tard, il aperçut les mêmes contractions dans les membres d'une grenouille, également dépouillée et coupée par la moitié, qu'il avait suspendue à son balcon par la moelle épinière, au moyen d'un crochet de cuivre; il remarqua que les contractions musculaires avaient lieu à chaque contact

contre les barreaux de fer du balcon. Ces deux faits le portèrent à supposer que les convulsions étaient dues à un courant électrique circulant des nerfs lombaires aux muscles des cuisses par l'intermédiaire des corps métalliques. Il en vint à admettre une *électricité animale*, qui fut même accueillie par un grand nombre de savants. Pour répéter l'expérience fondamentale de Galvani, on dépouille une grenouille, on coupe la colonne vertébrale un peu au-dessous des pattes de devant; puis on détache les chairs qui entourent la colonne, afin que les cuisses n'y adhèrent absolument que par les nerfs lombaires; ceux-ci se rencontrent, sans la forme de filets blancs, à droite et à gauche des vertèbres. Si l'on place l'une des extrémités d'une pièce métallique formée de deux arcs, zinc et cuivre, entre les filets cités plus haut et la colonne vertébrale, et que l'on touche avec l'autre extrémité les muscles de l'une des cuisses, ceux-ci se contractent et imprimant à la jambe de la grenouille un mouvement de flexion analogue à celui qui se manifeste dans l'état de vie. Pour expliquer ces faits nouveaux, on compara d'abord la grenouille à une BOUTEILLE de LEYDE, les nerfs représentant l'armature intérieure et les muscles l'armature extérieure; les FLUIDES, dits *galvaniques*, déterminaient la contraction lorsqu'ils pouvaient se recomposer par l'intermédiaire de l'arc conducteur.

Cette idée que les animaux pouvaient avoir une électricité propre à leur système et résidant en eux de la même manière que dans une bouteille de Leyde trouva presque immédiatement un adversaire sérieux, qui ne se laissa pas entraîner par l'opinion générale; nous voulons parler de Volta, professeur de physique à Pavie, qui déjà avait donné à la science l'ÉLECTROMÈTRE, l'ÉLECTROMÈTRE CONDENSATEUR et l'ÉLECTROMÈTRE. Cet habile physicien s'appliqua à démontrer que les effets obtenus provenaient uniquement de l'électricité développée par le contact des deux métaux. Galvani ayant constaté que non seulement on pouvait exciter les contractions en n'employant qu'un arc de métal homogène, mais que les résultats étaient les mêmes quand on mettait en contact immédiat les nerfs lombaires et les muscles cruraux, Volta répondit en posant cette règle générale: « Que deux substances hétérogènes quelconques, mises en contact, se constituent toujours, l'une à l'état positif, l'autre à l'état négatif. » Wells, de son côté, mettait hors de doute que l'arc métallique homogène ne produisait aucun effet quand il était très pur; mais qu'il suffisait de le froter doucement sur de l'étain par un de ses bouts pour lui donner en grande partie la propriété et la force de l'arc composé.

Volta prouvait que l'action développée au contact des métaux est excitée par une influence réciproque, qui décompose leurs fluides électriques. Il se servait, à cet effet, d'une lame métallique formée de deux morceaux, l'un de zinc et l'autre de cuivre, soudés bout à bout, avec laquelle il touchait l'un des plateaux d'un condensateur, en tenant entre les doigts l'extrémité de la lame, du côté du zinc. Le condensateur se chargeait ainsi d'une quantité d'électricité suffisante pour faire diverger les feuilles d'or. Volta donna le nom d'*électromotrice* à cette force qui se manifeste au contact des substances hétérogènes, sépare les éléments du fluide neutre répandu en elles, refoule les deux électricités vers les extrémités des deux substances. La force électromotrice variant d'intensité avec les matières mises en contact, Volta a dû reconnaître des corps électromoteurs, parmi lesquels il range les métaux, et des corps non électromoteurs. Ces derniers doivent plutôt être désignés comme de faibles électromoteurs, depuis que des instruments plus sensibles nous ont permis d'admettre qu'ils déve-

loppent aussi de l'électricité par le contact. C'est dans ces dispositions d'esprit et avec ces données que Volta inventa la pile, en 1800.

Méd. Le galvanisme est employé pour le traitement médical de certaines maladies. (V. GALVANISATION.)

GALVANO. — Expression abrégée employée dans le langage courant pour désigner soit un moule, soit un objet en cuivre obtenu par la GALVANOPLASTIE. On appelle surtout *galvano* les clichés en cuivre galvanoplastique à l'aide desquels on opère maintenant les tirages des gravures sur bois, celles-ci ne servant plus que de modèles.

GALVANOCAUSTIE ou GALVANOCAUSTIQUE CHIMIQUE. — Art d'utiliser l'action chimique des courants pour la cautérisation ou la modification des tissus animaux morbides.

Dans l'application de courants continus (v. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE), on cherche à éviter la production des escarres aux points de contact des rhéophores avec les organes; dans la galvanocaustique, au contraire, on détermine la formation de ces escarres suivant les cas à traiter.

C'est le médecin italien Ciniselli qui tenta le premier l'application de ces phénomènes; mais, faute d'expériences assez nombreuses, il ne parvint pas à créer une méthode rationnelle. En effet, c'est seulement de nos jours qu'on a remarqué la différence des actions produites aux deux pôles: le pôle positif décompose les liquides de l'économie et amène à son point d'application les acides, en produisant des escarres et, à leur suite, des cicatrices dures et rétractiles; le pôle négatif produit aussi des escarres, mais les cicatrices consécutives sont molles et non rétractiles. Il faut aussi remarquer que la production des acides au pôle positif permet, dans certains cas, de coaguler les liquides albumineux et de produire ainsi des caillots que l'on a cherché à utiliser dans le traitement des anévrismes.

On peut donc se servir, soit du pôle positif, soit du pôle négatif, soit des deux à la fois.

Lorsqu'on veut ne se servir que d'un seul pôle, il faut éviter que l'autre produise aussi des escarres: pour cela, on emploie en général des rhéophores à large surface en métal flexible (par exemple, des plaques de tain recouvertes de peau de daim ou de plaques d'agaric humides), ou de masses de terre glaise humectées d'eau salée, comme l'a fait avec beaucoup de succès le Dr Apostoli. Ces divers rhéophores épousent parfaitement les formes, et l'action du courant, se répartissant sur une large surface, ne produit pas d'escarres; aussi, depuis cette découverte, a-t-on pu employer des courants beaucoup plus intenses qu'auparavant. Le Dr Apostoli, dans le traitement des tumeurs fibro-utérines, a poussé l'intensité jusqu'à 200 milliampères; en Amérique, on fait usage de courants de la même intensité.

Le pôle actif doit être un métal inoxydable, tel que le platine, pour ne pas engendrer de sels métalliques nuisibles.

En se fondant sur la différence d'effet du pôle positif et du pôle négatif, les médecins ont imaginé un traitement que le Dr Tripiet a appelé *cautérisation tubulaire*. Il consiste, dans les cas d'abcès profond, de collection de pus, des kystes, etc., à pratiquer sur les malades des fistules au moyen de l'électrode négative. Les kystes, abcès, etc., se vident lentement, mais sûrement par ces fistules, qui n'ont pas de tendance à se refermer, à cause de l'action spéciale du pôle négatif sur les tissus. Une fois le résultat atteint, il suffit, pour refermer les fistules, d'une

cautérisation, soit au moyen du pôle positif, soit par la GALVANOCAUSTIQUE THERMIQUE. Le plus souvent, on obtient une guérison complète.

GALVANOCAUSTIE ou GALVANOCAUSTIQUE THERMIQUE. — Art d'utiliser pour la cautérisation l'incandescence d'un fil de platine produite par l'électricité.

Dès que l'action calorifique des courants fut connue, on songea à en faire l'application à la chirurgie pour remplacer les cautères rougis au feu, perdant presque immédiatement leur température au contact des tissus, et qu'il fallait réchauffer en les reportant dans le feu. C'est M. Neider qui, le premier, en 1854, a proposé de substituer aux cautères actuels la cautérisation par l'électricité.

Les cautères galvaniques se maintiennent à la température voulue; en outre, ils peuvent être introduits à froid dans les organes profonds; leur action est instantanée; leur ténacité permet de localiser l'effet dans les opérations les plus délicates; le rayonnement calorifique est très minime, comparé à celui des autres procédés; leur action est d'une constance parfaite, parce que l'opérateur peut graduer le courant à volonté; leur fonctionnement est silencieux et n'inquiète pas les malades; à cause de l'énergie et de la rapidité du moyen ils diminuent l'intensité de la douleur. Malgré tous ces avantages, la galvanocaustique thermique fut abandonnée pendant une période assez longue par suite de la déficuosité des sources d'électricité alors connues et des imperfections de fabrication. Ces causes de défaveur ont disparu en partie, et les appareils actuels donnent la faculté de procéder à toutes les opérations non seulement chez les médecins, mais aussi au domicile des malades.

La galvanocaustique thermique évite les hémorragies, parce que l'action calorifique du cautère coagule le sang des vaisseaux et détermine la formation de caillots qui jouent le rôle d'obturateurs. Pour que ce résultat soit complètement atteint, l'opérateur doit prendre soin de régler l'intensité du courant de manière que la température de la partie tranchante du cautère se maintienne à 800° environ. A une température plus basse les tissus ne seraient pas facilement cautérés; à une température plus élevée les hémorragies seraient à craindre.

L'électromoteur employé est toujours une PILE ÉNERGIQUE au bichromate de potasse. (V. PILES MÉDICALES).

GALVANOCAUTÈRE. — Les galvanocaustères sont des instruments de formes très variées utilisés en médecine pour obtenir divers résultats; ils se divisent en deux classes: les *galvanocaustères chimiques* et les *galvanocaustères thermiques*.

1^{re} CLASSE: Galvanocaustères chimiques. — Ils sont fondés sur l'ÉLECTROLYSE.

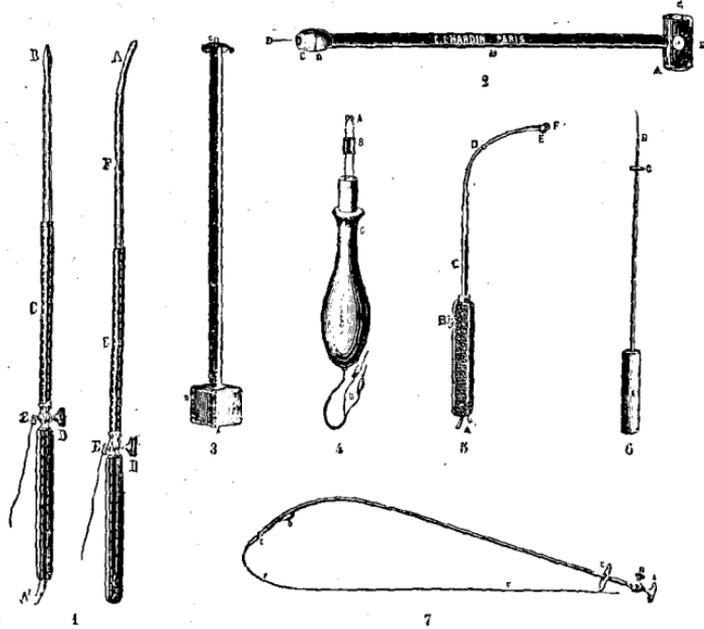
Hystéromètre Apostoli. — Cet appareil destiné principalement au traitement des tumeurs fibro-utérines, ne comporte que l'usage d'un seul pôle. Le second pôle est constitué par une large surface, comme il a été expliqué à l'article GALVANOCAUSTIQUE. La fig. 1 et sa légende en font suffisamment comprendre l'emploi.

Cautère du Dr Danion (fig. 2). — Destiné aux cautérisations du col de l'utérus et du museau de tanche. Il emploie les deux pôles.

Cautère Apostoli plat (fig. 3). — Il est destiné aux cautérisations du museau de tanche et agit par les deux pôles à la fois.

Excitateur Hubert (fig. 4). — Cet appareil est construit de petites dimensions et s'applique spécialement dans certaines maladies des yeux. Il agit par les deux pôles à la fois.

Excitateur bipolaire (fig. 5). — Construit pour les affections des cordes vocales. Agit par les deux pôles à la fois, et peut être aussi actionné par les COURANTS D'INDUCTION.



- Fig. 1. — Hystéromètre Apostoli.**
 A'. Partie mousse cautérisante.
 B. Lame perforatrice également cautérisante.
 C. Isolateur en verre ou en celluloid pour limiter l'action cautérisante.
 D. Bouton permettant d'arrêter la tige métallique A'B pour en limiter la pénétration.
 E. Attache du fil conducteur.

- Fig. 2. — Cautère du Dr Danion (Chardin.)**
 A. Base du cautère portant les deux attaches des électrodes.
 B. Sondo isolante.
 C. Partie cautérisante en platine.
 D. Autre point cautérisant, en platine, isolé du premier.
 E. Poignée de l'appareil.
 F, G. Attaches des électrodes.

- Fig. 3. — Cautère Apostoli.**
 A. L'un des pôles correspondant à l'action centrale C.
 B. L'autre pôle correspondant à l'action circulaire D.
 C, D. Les deux points cautérisants.

- Fig. 4. — Excitateur Hubert.**
 A. Les deux points cautérisants.
 B. Isolateur en verre pouvant être facilement flambé.

Aiguilles (fig. 6). — Elles peuvent affecter différentes formes, droites ou courbes. Elles n'utilisent qu'un seul pôle, le second pôle étant constitué par une large surface. Un appareil de ce genre se compose d'une aiguille en platine écroui, recouverte sur

- C. Manche isolant.
 D. Fils reliant l'excitateur à l'appareil.

Fig. 5. — Excitateur bipolaire.

- A. Arrivée des pôles de la pile.
 B. Bouton interrupteur.
 C. Tige.
 D. Coulisseau rapprochant plus ou moins les deux demi-sphères EF.
 E, F. Demi-sphères isolées l'une de l'autre, et représentant les deux pôles du courant.

Fig. 6. — Aiguille.

- A. Partie destinée à recevoir l'un des fils conducteurs.
 B. Pointe en platine écroui.
 C. Limite de l'isolement et de l'introduction.

Fig. 7. — Sonde du Dr Jardin.

- A. Bouton directeur permettant d'agir à volonté sur le point cautérisant D.
 B. Attache du fil conducteur.
 C. Soutien du système.
 D. Point cautérisant.
 E. Vis de pression destinée à fixer la sonde directrice en gomme sur l'appareil actif.

une partie de sa longueur par un vernis isolant, et munie d'une partie renforcée destinée à recevoir le fil conducteur. En Amérique, on s'est servi d'aiguilles de ce genre pour l'épilation.

Sonde du Dr Jardin (fig. 7). — Elle est destinée

aux affections du canal de l'urètre. Elle n'utilise qu'un seul pôle, le pôle négatif principalement.

Nouvelle sonde urétrométrique. — C'est un perfectionnement de la sonde Jardin. La *fig. 8* représente, de haut en bas, l'appareil complet (le point cautérisant est en B, D est une vis de réglage faisant avancer ou reculer ce point); puis la sonde directrice seule (en II est une spirale destinée à donner de la souplesse); la sonde isolante extérieure; la sonde in-

trinsèque avec son olive cautérisante (le cordon conducteur se fixe en C); enfin la tige métallique que l'on place en F sur la sonde directrice, afin de la sortir du canal au moment voulu.

Sonde pour la trompe d'Eustache (fig. 9).

Sonde Bowmann (fig. 10). — Elle est destinée aux cautérisations du canal lacrymal; aussi, la fabrique-t-on en platine, et non en maillechort.

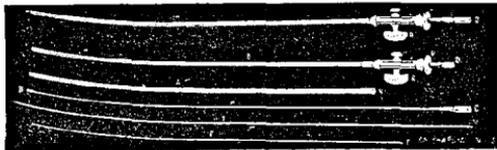


Fig. 8. — Sonde urétrométrique.

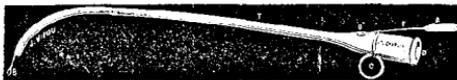


Fig. 9. — Sonde pour la trompe d'Eustache.

A. Sonde cautérisante. B. Point cautérisant.
T. Sonde isolante.



Fig. 10. — Sonde Bowmann.

A. Point d'attache du fil.
B. Tige cautérisante.

2^e classe : Galvanocautères thermiques. — Ils sont fondés sur la propriété que possèdent les courants suffisamment énergiques de porter à l'incandescence les conducteurs qu'ils traversent.

Grande anse (fig. 11). — C'est un des galvanocautères les plus utiles; on ne peut d'ailleurs jamais le remplacer par aucun autre au point de vue thermique. En effet, aucun moyen connu, si ce n'est l'électricité, ne permet de porter au rouge blanc un fil

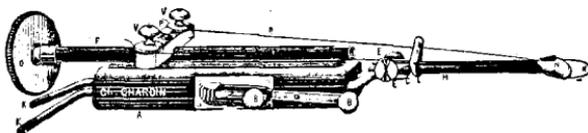


Fig. 11. — Grande anse.

A. Manche.
B. Pédale de communication.
C. Points de réunion des guides et du manche.
D. Bouton faisant avancer ou reculer le vis central F.
E. Bouton de serrage du guide dans le manche.
F. Vis centrale dissimulée dans une enveloppe métallique.

K. Attaches des fils conducteurs.
L. Guide en ivoire pour le fil.
M. Guide-anse.
N. Isolateur en porcelaine.
P. Chariot d'entraînement de l'anse mû par la vis F.
R. Fil ou anse proprement dite.
V. V. Boutons de serrage de l'anse.

d'une certaine longueur en dehors de tout foyer calorifique. Tous les organes, toutes les portions d'organes, les tumeurs, les polypes, etc., susceptibles d'être entourés par un fil peuvent subir l'ablation par l'anse qui sert à la fois d'écraseur linéaire et de cautère.

La *fig. 11* indique la disposition de l'appareil. Quant au mode opératoire il est généralement le suivant : Supposons un polype à supprimer; on entoure sa base avec le fil de platine R, et l'on manœuvre le bouton D de manière à comprimer la base du polype contre l'isolateur N, puis on fait agir le cou-

rant pendant un instant; on manœuvre de nouveau le bouton D, de manière à faire gagner au fil toute l'épaisseur de la zone cauterisée, et on recommence ensuite jusqu'à ablation complète.

La fig. 12 représente l'anse galvanique de M. Trouvé, qui est analogue à la précédente.

Petite anse galvanique. — Elle est construite d'après les mêmes principes que la grande anse, mais



Fig. 12.

Anse galvanique de M. Trouvé.

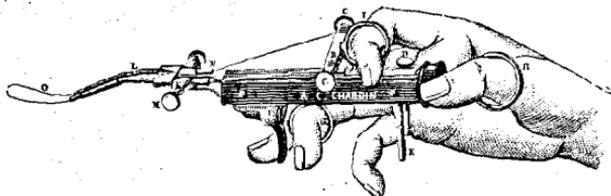


Fig. 13.

Petite anse galvanique. (Chardon.)

- A. Le manche même.
- B. Chariot glissant dans le manche.
- C. Points métalliques isolés l'un de l'autre. Ils sont entraînés par le chariot B.
- D. Bouton d'arrêt du chariot B.
- E. Attaches des fils conducteurs.
- F. Pédale établissant à volonté la communication électrique.
- G. Anneau de soutien de l'appareil.
- H. Deuxième anneau de soutien de l'appareil.
- I. Anneau commandant le chariot.
- K. Point de réunion des guide-anse avec le manche.
- L. Guide-anse.
- M, N. Boutons de serrage pour tenir en place le guide anse.
- O. Anse proprement dite.

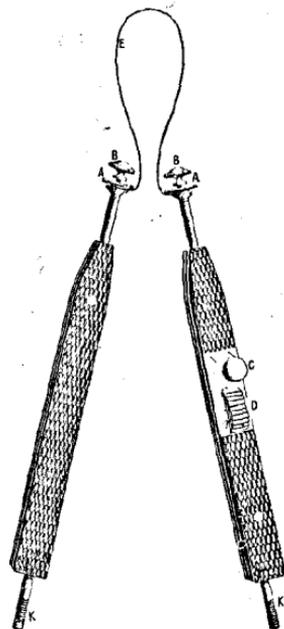


Fig. 14. — Appareil à forcer.

- A. Écrous de serrage passés dans les manches.
- B. Contre-écrous pour maintenir les écrous A.
- C. Bouton de communication.
- D. Verrou de communication.
- K. Attache des fils.

elle est disposée de telle sorte qu'une seule main suffit pour la manœuvrer. En se reportant à la fig. 43 on se rend compte de la position à donner à la main pour faire fonctionner l'appareil

Appareil à forcer (fig. 14). — C'est une disposition primitive de l'anse, moins perfectionnée que les

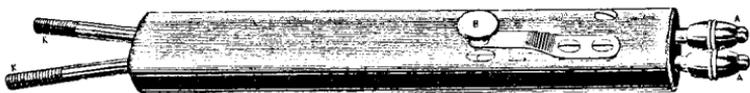
deux précédentes, mais pouvant dans certains cas, rendre des services.

Nous donnons enfin ci-contre les figures des manches et des cautéres les plus usités; les légendes qui les accompagnent font facilement comprendre l'usage des instruments. On peut du reste varier ces formes à l'infini.

CAUTÈRES



15



16

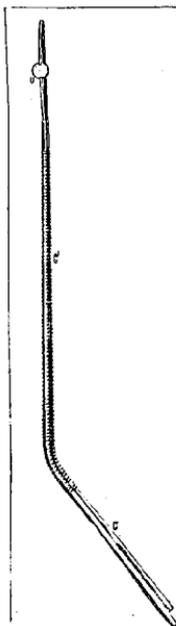


17

Fig. 15, 16, 17. — Manches de cautères. (Chardin). — A. Attache des cautères. — B, D. Boutons de communication. — C. Verrou établissant la communication d'une façon définitive. — G. Verrou laissant voir l'intérieur du système. — K. Attache des fils.



Fig. 18.
Manche
de cautère.
(Trousot.)



Cautères pour les Oreilles.

Les différentes têtes de cautères représentées ci-dessous ont des formes appropriées aux opérations à pratiquer dans l'oreille.

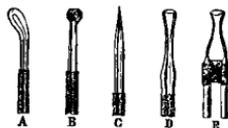


Fig. 20. — Têtes.

A, B, C, D, E. Pointes des cautères pouvant remplacer le point D de la fig. 19.

Fig. 19. — Partie intermédiaire entre le manche et la tête.
C. Tiges souples conductrices.
D. Point cauterisant.

Cautères pour le Larynx et le Pharynx.

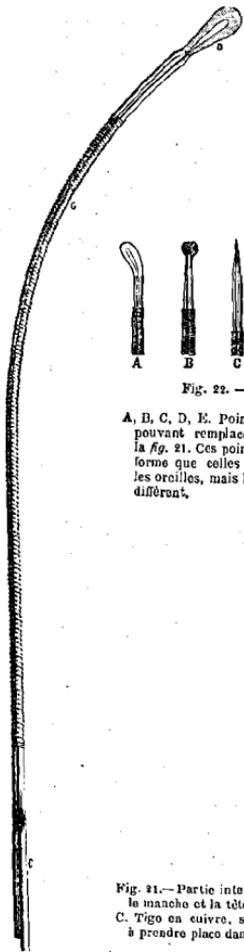


Fig. 22. — Têtes.

A, B, C, D, E. Pointes des cautères pouvant remplacer le point D de la fig. 21. Ces pointes ont la même forme que celles employées pour les oreilles, mais leurs dimensions diffèrent.

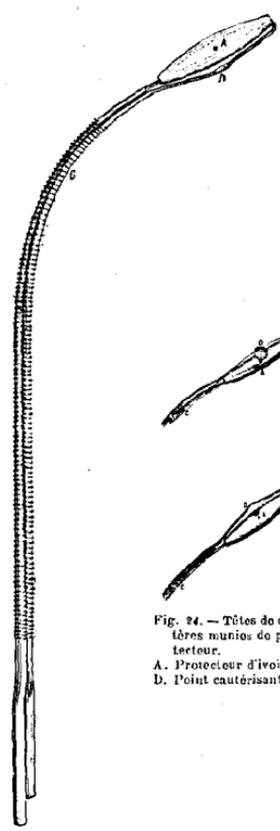


Fig. 24. — Têtes de cautères munies de protecteur.
A. Protecteur d'ivoire.
D. Point cauterisant.

Fig. 23. — Partie intermédiaire entre le manche et la tête.
C. Tige en cuivre, souple, destinée à prendre place dans les manches.

Fig. 21. — Partie intermédiaire entre le manche et la tête.
C. Tige en cuivre, souple, destinée à prendre place dans les manches.

Cautères pour les Yeux.



Fig. 25.

C. Tiges prenant place dans le manche. — D. Partie cauterisante.

Cautères pour le Nez.

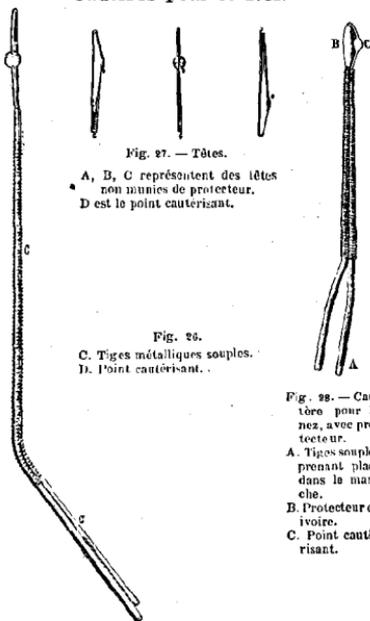


Fig. 27. — Têtes.

A, B, C représentent des têtes non munies de protecteur. D est le point cautérisant.

Fig. 28.

C. Tiges métalliques souples. D. Point cautérisant.

Fig. 29. — Cautère pour le nez, avec protecteur. A. Tiges souples prenant place dans le manche. B. Protecteur en ivoire. C. Point cautérisant.

Cautères pour la Peau.

Ces formes de cautères servent à faire des points de feu, et sont employées notamment à détruire les lupus.

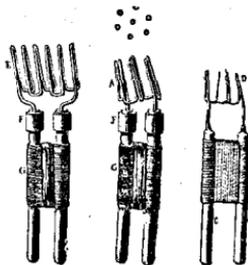


Fig. 29, 30, 31.

Les tiges C et G prennent place dans les manches.

A, E, D. Parties cautérisantes.

Ces cautères présentent des têtes ou parties cautérisantes particulières.

Cautères pour la Gynécologie.

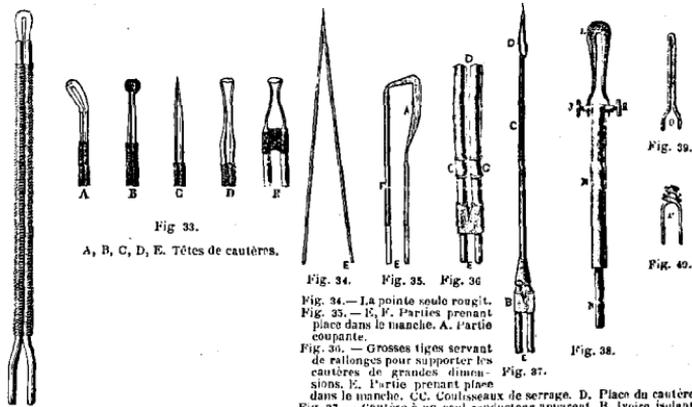


Fig. 32. — Tige souple portant les têtes représentées fig. 33.

Fig. 33.

A, B, C, D, E. Têtes de cautères.

Fig. 34. Fig. 35. Fig. 36

Fig. 34. — La pointe seule rougit.

Fig. 35. — E, F. Parties prenant place dans le manche. A. Partie coupante.

Fig. 36. — Grosses tiges servant de rallonges pour supporter les cautères de grandes dimensions. E. Partie prenant place dans le manche. C. Couteaux de serrage. D. Place du cautère.

Fig. 37. — Cautère à un seul conducteur apparent. B. Ivoire isolant. C. Tube métallique servant de conducteur et contenant le 2e conducteur. D. Partie cautérisante.

Fig. 38. — Forte-cautère avec couteau. (Trousseau).

Fig. 39 et 40. — Têtes pour le porte-cautère de Trouvé.

Fig. 39.

Fig. 40.

Fig. 38.

GALVANOCÉRAMÉ. — Vase de porcelaine ou de faïence sur le fond duquel on a fait déposer une couche de cuivre par les procédés de la GALVANOPLASTIE. « Système de fabrication des mêmes vases.

GALVANOGRAPHIE. — Procédé électrographique au moyen duquel on obtient des planches qui imitent tous les genres de gravure, surtout l'aqua-tinta, la manière noire, le pointillé et le genre crayon.

La galvanographie consiste à surcharger avec du cuivre précipité par voie quelconque des dessins, des images au pinceau, dans le genre du lavis et de l'aqua-tinta, de manière à constituer des planches pouvant servir à multiplier les images comme si elles avaient été gravées, et dont on puisse tirer des épreuves nombreuses. C'est un procédé de gravure pour la reproduction des dessins, où n'interviennent ni la main ni l'intelligence de l'homme.

La galvanographie a été imaginée par le professeur Kobell, de Munich.

« Il est aisé de prévoir, dit-il, que si l'on parvenait à rendre conductrice une surface vernie, on formerait ainsi une couche cuivreuse d'une grande fidélité. Mais les méthodes usitées pour peindre et vernir les surfaces unies, dans lesquelles on fait usage de substances grasses ou résineuses, s'opposent à ce qu'on pût obtenir des couleurs ou des vernis conducteurs, et on conçoit qu'il n'est guère possible d'étendre au pinceau, sur ces surfaces, une couche de graphite ou d'autre substance analogue, sans détruire les demi-teintes, et les nuances les plus délicates des images.

« J'ai donc cherché, sans ce moyen, à recouvrir de cuivre une image peinte sur argent. J'ai pensé que c'était uniquement une question de temps que de recouvrir de cuivre les parties non conductrices, interrompues et entourées par celles qui le sont. « L'expérience a répondu à mon attente. »

Extrayons de l'ouvrage de M. Kobell la description de sa méthode d'opération :

L'image est tracée au pinceau avec une couleur encastrique, dont l'excipient est une solution de cire et d'un peu de résine de Damara dans l'essence de térébenthine, sur une plaque de cuivre doublée d'argent, et polie de telle façon que les places blanches du métal produisent les plus forts effets de lumière et que les couches de peinture les plus chargées et les plus épaisses constituent les ombres.

Le prince de Leuchtenberg, qui s'occupait avec succès de galvanographie, substituait la gomme laque ordinaire à la résine de Damara. La couleur employée était l'oxyde rouge de fer ou coaltar, obtenu par la calcination du sous-sulfate de fer.

La couleur, qui est travaillée avec une dissolution de cire brute, ne doit recevoir que la quantité d'excipient exactement nécessaire pour qu'après sa dissociation, elle paraisse mate et adhère parfaitement à l'argent. Lorsque l'image doit avoir des ombres très intenses, les points où se trouvent ces dernières sont chargés avec de la couleur à l'huile ordinaire, que l'on saupoudre ensuite de graphite pulvérisé très fin, qui, après l'époussetage de la plaque, doit y adhérer fortement et y former une espèce de velouté. Pour la suite de l'opération, nous élèverons textuellement l'ouvrage du professeur Kobell :

« La plaque avec l'image ainsi préparée est posée alors sur une autre plaque en cuivre et isolée sur les bords avec de la cire. On a conservé à cette dernière plaque une bande qui sert à la mettre en communication avec la plaque en zinc qui forme le second élément nécessaire de la pile galvanique. Cette plaque de zinc est placée dans une espèce de tambourin sur

lequel est tendu un parchemin, et qui repose sur des picots de 0^m,025 à 0^m,630 de hauteur. Ce tambourin est posé sur l'image et sur la plaque de cuivre qui lui sert de soutien. La communication s'établit au moyen d'une lame de plomb. On la met en contact avec la plaque de zinc, et on unit, au moyen d'un petit étai à vis, cette lame de plomb avec la plaque de cuivre sur laquelle se pose la plaque portant le dessin. Ce système de plaques est mis dans un vase de bois goudronné, et mieux de verre ou de porcelaine, rempli d'une solution d'une partie en volume de sulfate de cuivre dans l'eau, et d'une partie, également en volume, de sulfate de cuivre étendu avec une solution de sulfate de soude, jusqu'à une hauteur telle que le parchemin du tambourin soit un peu au-dessous du niveau du liquide.

« Dans ce tambourin, et sur la plaque de zinc, on verse, à quelques millimètres d'épaisseur, de l'eau à laquelle on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique. Il est nécessaire que la plaque de zinc, qui doit, autant que possible, être du zinc laminé, soit maintenue de plusieurs millimètres éloignée du parchemin, ce qui s'exécute au moyen de petits supports de fils de cuivre que l'on fixe dans les parois du tambourin, ou avec des tronçons de tubes de verre qu'on place sous cette plaque de zinc.

« Le cuivre se précipite d'abord, à mesure que le sulfate se décompose, sur les parties claires et blanches de la plaque peinte. Mais on voit bientôt aussi se former, avec le temps, sur la couleur elle-même, de petites protubérances de cuivre qui augmentent peu à peu et finissent par recouvrir d'une plaque continue l'image tout entière. »

Il faut de trois à huit jours pour recouvrir une plaque. Pendant tout le temps que dure l'opération, on doit nettoyer le zinc toutes les douze ou vingt-quatre heures, ainsi que le tambour, que l'on remplit d'eau fraîche acidulée d'acide sulfurique. Les planches obtenues ne peuvent guère donner que de trois cents à six cents épreuves; mais il est facile d'en prendre plusieurs copies galvanoplastiques, en ayant soin d'argenter un peu la surface, pour qu'il n'y ait pas adhérence du dépôt.

Voici maintenant un procédé d'une pratique très simple, destiné à reproduire par la galvanoplastie une épreuve gravée sur papier, afin d'obtenir une planche galvanographique.

Lorsqu'on a une bonne épreuve, on l'applique fraîche sur une plaque de cuivre bien dressée et préalablement trempée dans l'acide nitrique étendu. La plaque et l'épreuve sont soumise à l'action de la presse, ce qui détermine le transport de l'encre de l'épreuve sur la plaque de cuivre. On dore légèrement cette planche par la galvanoplastie. Il est facile de concevoir que l'on ne s'attachera pas sur les parties revêtues d'encre grasse, mais seulement sur le cuivre.

Une demi-minute suffit pour dorer la plaque. On lave avec l'essence de térébenthine, qui dissout l'encre grasse et met à nu le cuivre dans tous les points que recouvrait cette encre. Il suffit ensuite de placer la planche, ainsi préparée, en guise d'électrode soluble, dans une auge à décomposition, pour graver en creux toutes les parties non dorées.

Mais si la reproduction d'un dessin fait à la main par une planche se gravant d'elle-même est un résultat remarquable, plus remarquable encore sera l'obtention d'une planche gravée reproduisant les objets extérieurs, sans l'intervention de la main de l'homme, même pour tracer le dessin primitif que la gravure doit multiplier à l'infini. Or, tel est le résultat que M. Grove poursuivait le premier, en tentant d'obtenir directement des planches gravées d'après

les épreuves daguerriennes. On aura là une planche dessinée par la lumière et gravée par l'électricité.

On sait que les images daguerriennes sont composées de saillies dues aux dépôts de mercure formant des clairs, et de parties planes formant les ombres, qui ne sont autres que l'argent du plaqué. Les dégradations de teintes proviennent du mélange des saillies et des parties planes.

Si sur ces images, considérées comme moules, on dépose du cuivre, il arrivera que les reliefs deviendront des creux, et vice versa; de cette façon, on aurait une planche qui donnerait des noirs à la place de blancs, et réciproquement. De plus, les saillies sont si faibles, que les tirages seraient à peine possibles. On aime mieux alors résoudre le problème en considérant les planches daguerriennes comme des électrodes solubles dans les liquides attaquant le mercure et laissant l'argent.

La liqueur qui attaque le mercure en laissant l'argent est l'acide hydrochlorique.

Voici comment M. Grove dispose l'appareil. Dans un bûti en bois, on pratique deux cavités placées à 0^m.05 de distance l'une de l'autre, dans lesquelles on glisse : 1^o la plaque daguerrienne; 2^o une plaque de platine de même dimension. Le dos et les bords de la plaque daguerrienne sont vernis avec une solution de gomme laque; on laisse seulement libre une portion du bord pour établir le contact avec le conducteur voltaïque. Le bûti en bois chargé de ces deux plaques est ensuite placé dans un vase de verre ou de porcelaine, rempli d'une solution de 2 volumes d'acide hydrochlorique et de 1 volume d'eau distillée. Deux fils en platine assez forts, venant d'une pile de Grove, sont mis en communication avec les deux électrodes pendant 30 secondes.

On retire alors la plaque daguerrienne, on la lave dans l'eau distillée, et si l'argent était bien homogène et ne présentait point de stries, le dessin original aura pris une belle couleur de terre de Sienna, produite par la couche d'oxychlorure formée pendant l'opération. On place l'épreuve dans un plat contenant une solution très faible d'ammoniaque, et on frotte légèrement la surface avec du coton bien doux, jusqu'à ce que le dépôt ait disparu. On replonge aussitôt dans l'eau distillée, et on fait sécher avec soin. L'opération est alors terminée, et on obtient une gravure parfaite du dessin original. Elle sera même plus vraie que ce dernier, car elle ne sera pas renversée. Toutefois, la gravure des épreuves daguerriennes offre des difficultés insurmontables. Si les plaques sont gravées assez profondément pour donner une bonne épreuve, quelques-unes des lignes les plus délicates de l'original se confondront nécessairement et la beauté fine et délicate des dessins sera détruite.

Mais si, au contraire, on n'a continué l'opération que pendant le temps nécessaire pour produire la gravure exacte de l'épreuve, ainsi que l'on peut le faire parfaitement, le nettoyage que l'imprimeur lui fait subir suffit pour détruire sa beauté, et l'on n'obtient qu'une épreuve très imparfaite, parce que les molécules de l'encre d'imprimerie sont trop grosses pour la profondeur du trait gravé.

GALVANO-MAGNÉTIQUE. — Qui a rapport au galvanisme-magnétisme.

GALVANO-MAGNÉTISME. — Ensemble des effets à la fois galvaniques et magnétiques. On dit plutôt ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

GALVANOMÈTRE. — Instrument servant à constater le passage d'un courant, à en reconnaître le sens

et, dans certains cas, à en mesurer l'intensité et la force électromotrice. (V. AMPÈREMÈTRE, VOLTMÈTRE et BOUSSOLE.)

Le galvanomètre ou rhéomètre, est un appareil fondé sur la découverte d'Ørsted, de l'action directrice exercée par les courants sur les aimants, et qui sert à constater, par cette action même, l'existence d'un courant, à en fixer le sens et à donner une sorte de mesure de son intensité (v. ÉLECTRO-MAGNÉTISME).

Cet appareil a été imaginé par Schweigger, en Allemagne, peu de temps après la découverte d'Ørsted. Il pourrait se réduire, si le courant essayé était assez fort, à un simple cadre rectangulaire, formé d'un fil métallique dans lequel on ferait passer le courant et dans l'intérieur duquel serait suspendue, parallèlement à deux de ses côtés, l'aiguille sur laquelle le courant devrait agir.

On sait que, lorsqu'on approche d'une aiguille aimantée un fil métallique rectiligne dans lequel passe un courant, si la plus courte distance du fil à l'aiguille tombe sur cette aiguille au point par lequel elle est suspendue, les réactions qu'elle éprouve de la part du courant tendent à la faire tourner autour de son centre, pour lui faire prendre une direction perpendiculaire à celle du courant et dans un sens tel qu'un observateur, couché le long du courant de manière à recevoir par les pieds l'électricité positive, et d'ailleurs tourné vers l'aiguille, verrait le pôle austral de cette aiguille se porter vers sa gauche.

Soient donc NS (fig. 1) une aiguille de MÉRIIDIEN suspendue horizontalement par son centre dans le plan du MÉRIIDIEN MAGNÉTIQUE, et ABCD un cadre métallique rectangulaire dont le plan coïncide avec celui du méridien magnétique, dont deux côtés, AB, CD, soient parallèles à l'aiguille, et dont le centre coïncide avec le point de suspension de cette aiguille : si l'on fait passer dans ce cadre un courant tel que l'électricité positive suive la direction ABCD, d'après la règle énoncée plus haut, les actions directrices des quatre courants rectilignes, AB, BC, CD, DA, sur l'aiguille tendront également toutes à la faire tourner dans le plan horizontal qui la contient, de manière à porter son pôle sud S vers l'ouest : la déviation aura donc lieu, et elle sera d'autant plus forte que le courant aura lui-même plus d'énergie.

Dans l'expérience ainsi faite, l'action directrice du courant est opposée à celle de la terre et, par conséquent, l'effet produit ne peut être sensible qu'avec un courant un peu fort.

On peut d'abord donner plus de sensibilité à l'appareil en accouplant, suspendues au même fil vertical, deux aiguilles parallèles aimantées au même degré, dont les pôles soient disposés en sens contraires, et dont une seule soit entourée par le courant (fig. 2). La terre n'ayant pas, en effet, d'action sur un pareil système, la mobilité de l'aiguille placée à l'intérieur du cadre

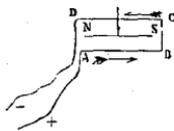


Fig. 1.

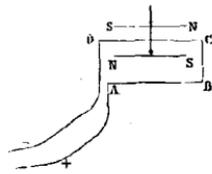


Fig. 2.

en sera déjà rendue plus grande; mais, de plus, il est aisé de voir que l'action exercée par le courant rectangulaire sur l'aiguille extérieure concourra à dévier leur système précisément dans le même sens que son action sur l'aiguille intérieure, et que, par conséquent, l'effet produit sera encore accru. Mais on arrive à donner à l'instrument une sensibilité qui est, en quelque sorte, indéfinie en entourant le fil un grand nombre de fois, toujours dans le même sens, autour de l'aiguille, avant de le conduire aux deux pôles de la pile.

Galvanomètre multiplicateur. — Le galvanomètre multiplicateur se compose d'un cadre rectangulaire autour duquel s'enroule, un grand nombre de fois, un fil de cuivre recouvert de soie dans toute sa longueur, pour que les circuits restent bien isolés les uns des autres. Au-dessus du cadre se trouve un cadran horizontal gradué, dont le zéro est à l'extrémité du rayon parallèle aux côtés horizontaux des rectangles que forme le fil; les deux aiguilles, formant un système à peu près ASTATIQUE, sont suspendues à un fil de cocon et reliées entre elles par un fil très délié de cuivre; elles ne doivent pas être exactement de même énergie magnétique, afin que la terre conserve sur leur système une faible action directrice, sans quoi le courant le moins intense les portant dans une direction perpendiculaire à la sienne, l'écart observé ne pourrait pas servir de mesure à son énergie. L'appareil, au moment de l'expérience, doit être établi de façon que l'aiguille, placée en dehors du cadre et qui se meut au-dessus du cadran, tombe sur le zéro de ce cadran; le fil conducteur est alors dans le plan du méridien magnétique, et, par conséquent, parallèle aux aiguilles. Pour faciliter et assurer en même temps la mise en station de l'instrument, on le rend mobile autour d'un axe vertical passant par le centre du cadre; il est d'ailleurs supporté par trois vis calantes qui permettent d'établir le cadran dans une position bien horizontale.

Pour que les indications fournies par le galvanomètre puissent donner la mesure du courant essayé, il faut dresser une table des déviations observées sous l'action de courants d'énergies connues. Or, on arrive aisément, en variant une réaction chimique, à produire des courants dont les intensités croissent comme les nombres de la série naturelle. On se sert pour doser ces courants, avant de les faire passer dans le fil du galvanomètre qu'on veut graduer, d'un MULTIPLICATEUR à deux fils. Ce multiplicateur est un galvanomètre sur le cadre duquel sont enroulés simultanément deux fils isolés de mêmes dimensions. On fait d'abord passer dans l'un des fils seulement le courant dont l'énergie est prise pour unité, et l'on note; on fait ensuite passer simultanément dans les deux fils deux courants identiques au premier et on note le nouvel effet produit; en cherchant alors, par tâtonnements, à obtenir un courant qui, passant dans l'un seulement des fils, produise le même effet que les deux courants précédents, on a le courant dont l'intensité est 2. Faisant alors passer ce courant dans l'un des fils, et l'un des premiers dans l'autre, on obtient un effet que l'on peut considérer comme produit par un courant ayant 3 pour intensité, et qui servira à obtenir par tâtonnements ce troisième courant, et ainsi de suite.

L'expérience a constaté que les déviations indiquées par le galvanomètre sont, jusqu'à 20° environ, proportionnelles aux intensités des courants essayés. Au delà de 20°, les déviations croissent moins vite que les intensités des courants.

Les usages du galvanomètre sont très nombreux. On s'en est servi avec succès pour l'étude des phéno-

mènes électro-dynamiques qui accompagnent presque tous les changements d'état des corps, soit qu'ils se combinent entre eux, se dissolvent les uns dans les autres, se vaporisent, ou seulement changent de température.

Galvanomètre différentiel. — Le galvanomètre différentiel, à l'aide duquel on peut, en quelque sorte, soustraire deux courants l'un de l'autre, est simplement un multiplicateur à deux fils, dans lesquels on fait passer en sens contraires les deux courants à essayer. L'effet produit peut être considéré comme dû à un courant dont l'énergie serait la différence de celles des deux courants employés.

Galvanomètre des tangentes. — (V. BOUSSOLE.)

Galvanomètre des sinus. — (V. BOUSSOLE.)

Galvanomètre à miroir et à réflexion de Thomson. — Ce galvanomètre, qui est un des plus employés et qui varie beaucoup dans ses

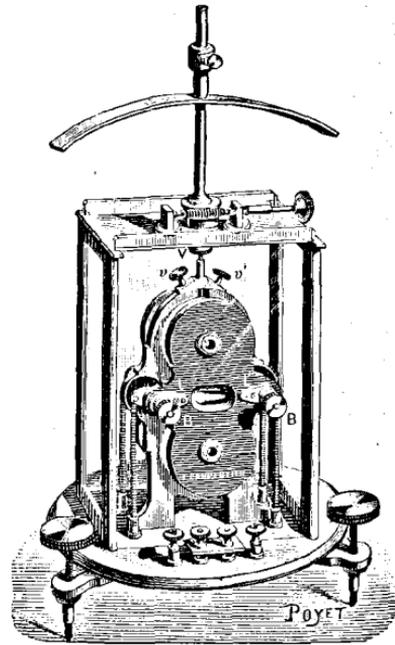


Fig. 3. — Galvanomètre de Thomson. (Modèle J. Carpentier.)

formes, se compose essentiellement de quatre ou cinq petits aimants très légers, collés contre un petit miroir plan-concave, suspendu par un fil de cocon au centre d'une grande bobine de fil. On se sert pour mesurer les déviations du système de lamp, échelle et miroir.

La fig. 3 représente le Galvanomètre astatique de Thomson (modèle J. Carpentier),

Pour éviter d'avoir à placer toujours l'appareil dans le méridien magnétique, un grand aimant courbe faiblement aimanté est supporté horizontalement par une tige verticale fixée au sommet de la cage. Par sa force directrice, cet aimant constitue un méridien magnétique artificiel. L'aimant peut glisser verticalement le long de son support, il peut aussi tourner autour de celui-ci, ce qui permet d'avoir un méridien magnétique artificiel dans une direction parfaitement déterminée.

BB sont des boulons moulés permettant de remplacer le système de bobines à fil fin par un système de bobines à gros fil.

L'ÉQUIPAGE GALVANIQUE se compose de deux groupes de petits aimants placés chacun au centre des deux bobines. L'un des deux groupes d'aimants est seul muni du miroir plan-concave. Cet équipage as-

semblé est très accessible et peut, en cas d'accident, se réparer et se remplacer facilement.

Galvanomètres industriels de sir W. Thomson.

— Les galvanomètres de sir W. Thomson, employés pour les usages industriels, sont de deux modèles : le premier, à circuit de très faible résistance, sert à étudier le fonctionnement des machines au point de vue de l'INTENSITÉ; le deuxième, dont le circuit présente une résistance de 6.000 à 7.000 OHMS, sert à mesurer les FORCES ELECTROMOTRICES. Nous décrirons seulement le premier de ces appareils, l'autre n'en différant que par la bobine.

L'instrument comprend deux parties distinctes (fig. 4) : 1° une boîte mobile en forme de secteur, dans l'angle duquel se trouve un pivot vertical supportant une aiguille aimantée dont l'extrémité se meut devant une portion de cercle divisé. L'aiguille

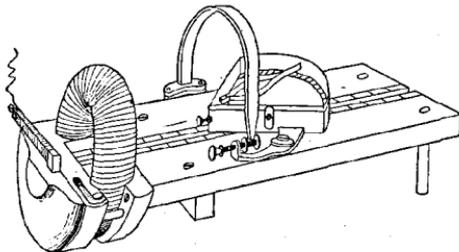


Fig. 4.

est constituée par l'ensemble de quatre petits barreaux d'acier de 1 centimètre de longueur, parallèles entre eux et formant, avec une aiguille très légère (en aluminium) (fig. 5) un équipage d'une extrême mobilité; 2° une bobine ayant la forme d'un tore,



Fig. 5.

comprenant six tours d'une lame de cuivre, isolée au papier d'amiante, et d'une section de 28 millimètres carrés. Elle est fixée verticalement à l'extrémité d'une planchette en bois horizontale. Une rainure médiane, portant une graduation, permet de faire glisser la boîte qui renferme l'aiguille et de faire varier ainsi la distance qui sépare cette boîte de la bobine. L'instrument comporte donc deux graduations : l'une correspondant aux déviations de l'aiguille, l'autre, à la distance de l'aiguille à la bobine, cette dernière étant donnée par les divisions de la planchette. Ces divisions sont tracées par le constructeur de telle sorte que l'aiguille, placée dans un CHAMP MAGNÉTIQUE égal à l'unité, dévie aux distances numérotées 1, 2, 3, etc., de 1, 2, 3, etc. degrés du cadran, lorsque le courant a une intensité de 1 AMPÈRE. Mais comme l'intensité du champ est celle du magnétisme terrestre et non l'unité, le résultat des observations doit être multiplié par cette intensité.

En appelant : I, l'intensité du courant; H, la com-

posante horizontale du magnétisme terrestre; d, la déviation de l'aiguille, et n, le nombre des divisions de la planchette, on aura la formule

$$(1) \quad I = \frac{H \times d}{n}$$

Avant de se servir du galvanomètre, il faut déterminer la valeur de H, qui varie avec le milieu dans lequel se trouve placé l'appareil, c'est-à-dire suivant que cet instrument se trouve dans le voisinage de masses de fer plus ou moins considérables. Voici comment on procède pour faire cette détermination : on fait passer dans l'appareil un courant d'une intensité connue I, on place l'aiguille à une distance n de la bobine et l'on obtient une déviation d; on peut alors déduire la valeur de H de la formule (1); on a

$$H = \frac{I \times n}{d}$$

Lorsque les courants à mesurer sont très énergiques, cette disposition n'est plus suffisante et on pose alors sur la boîte un aimant en forme de demi-cercle, qui réduit la sensibilité du galvanomètre; mais alors il faut ajouter dans la formule (1) l'intensité du champ H' de l'aimant et la formule devient

$$(2) \quad I = \frac{(H + H') \cdot d}{n}$$

Comme tous les aimants perdent une partie de leur magnétisme avec le temps, il est nécessaire de vérifier à certains intervalles la valeur de H + H'. Pour cela, on amène le front du secteur devant une des

divisions les plus éloignées de la bobine et l'on obtient une déviation d au moyen d'une pile constante, composée de quelques éléments. La formule (1) donne alors

$$I = \frac{H \times d}{n};$$

soit, pour fixer les idées, $I = 6$ ampères; on place l'aimant à mesurer sur la bobine et l'on rapproche celle-ci de la bobine jusqu'à ce que l'on ait une déviation convenable, tout en maintenant le même courant. Supposons que cette déviation soit 22,5 et que la di-

vision de la planchette soit 30, nous aurons, en appliquant la formule (2)

$$I = (H + H') \times \frac{d}{n},$$

d'où

$$H + H' = I \times \frac{n}{d},$$

Et en remplaçant les lettres par leur valeur

$$H + H' = 6 \times \frac{30}{22,5} = 8.$$

Cette dernière valeur devra donc être employée

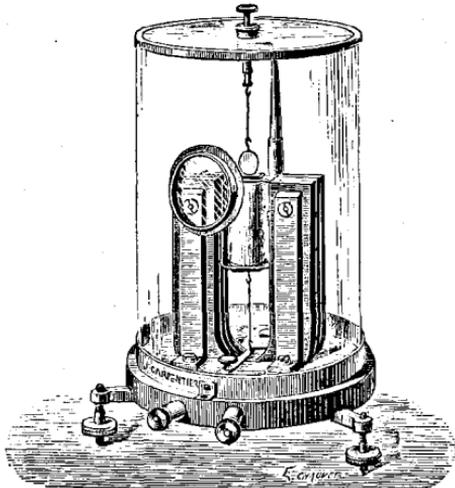


Fig. 6. — Galvanomètre aperiodique Deprez et d'Arsonval.

comme représentant l'action simultanée de l'aimant et du magnétisme terrestre.

Le galvanomètre qui sert à étudier les forces électromotrices, ne diffère de celui que nous venons de décrire que par la bobine. Celle-ci est enroulée d'un fil fin en maillechort, d'environ 2.000 mètres de longueur et présentant une résistance de plus de 6.000 ohms. La graduation de l'instrument est analogue et les formules à appliquer sont

$$(1) \quad E = \frac{H \times d}{n} \text{ VOLTS,}$$

ou

$$(2) \quad E = \frac{(H + H') d}{n} \text{ volts,}$$

suivant qu'on emploie l'appareil sans ou avec un aimant directeur. La vérification de H et de $H + H'$ se fait comme pour l'appareil précédent, mais en employant, au lieu d'un courant d'intensité connue, un courant de force électromotrice connue.

Les galvanomètres industriels de sir W. Thomson sont exacts et très sensibles.

Galvanomètre aperiodique de MM Marcel De-

prez et d'Arsonval. — Nous citerons également le galvanomètre aperiodique de MM. Marcel Deprez et d'Arsonval, qui est actuellement l'un des plus sensibles et dont l'usage est beaucoup plus pratique que celui du galvanomètre Thomson. Cet appareil se compose d'un cadre galvanométrique très léger, de forme rectangulaire (fig. 6), suspendu verticalement entre deux fils de platine ou d'argent bien écrouis, l'un en dessus, l'autre en dessous, qui lui servent à la fois d'axe de rotation et d'amenée de courant. Les deux côtés les plus longs du cadre sont parallèles aux deux branches d'un fort aimant, entre lesquelles ce cadre est suspendu. Une potence soutient à l'intérieur du cadre un cylindre de fer doux, destiné à augmenter le nombre des lignes de force magnétiques qui agissent sur lui. Ce galvanomètre est aperiodique, c'est-à-dire qu'après avoir été dévié par un courant, si l'on supprime ce courant et que l'on mette les deux bornes du galvanomètre en court circuit, le cadre revient au zéro sans le dépasser. Sur le fil de suspension se trouve collé un petit miroir parallèle au plan du cadre et qui réfléchit sur une échelle transparente en celluloid l'image d'un réticule fortement éclairé, placé à environ 4 mètres de l'appareil, ce qui

revient à dire que le cadre est muni d'un index sans poids de 2 mètres de long. Cet instrument accuse parfaitement le passage d'un courant de 1 dix-millième d'ampère.

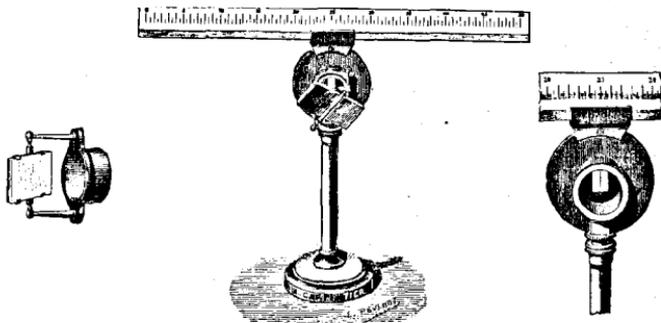


Fig. 7. — Échelle divisée transparente. (Modèle J. Carpentier.) Ensemble et détails.

La fig. 7 représente l'échelle divisée transparente, le miroir qui sert à envoyer la lumière d'une lampe sur le miroir du galvanomètre et enfin le réticule.

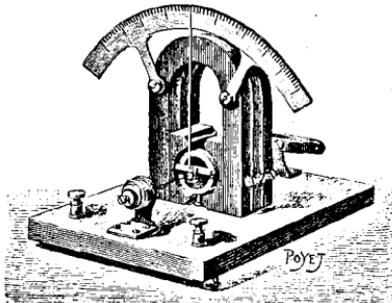


Fig. 8.
Galvanomètre de MM. Deprez et d'Arsonval.

Galvanomètre à indications proportionnelles de MM. Deprez et d'Arsonval. — Ce galvanomètre (fig. 8) se distingue du précédent en ce que la suspension du cadre, au lieu d'être verticale, est horizontale. Ce cadre galvanométrique se trouve situé dans l'intérieur de deux pièces polaires en fer doux ajoutées aux extrémités des branches de l'aimant. Ces pièces polaires, en forme de deux demi-cylindres, enveloppent complètement un cylindre intérieur en fer doux immobile; c'est dans l'espace annulaire compris entre ces deux cylindres que se meut le cadre galvanométrique et, comme cet espace constitue un champ magnétique constant, il en résulte que les déviations du cadre sont sensiblement proportionnelles à l'intensité du courant qui le parcourt dans les limites de déviation de 60° de chaque côté de la position normale de l'aiguille.

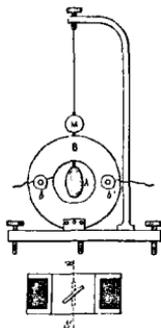


Fig. 9. — Galvanomètre Fleming.
(Plan et Élévation.)

Galvanomètres étalonnés. — On appelle ainsi ceux dont l'échelle n'est pas divisée en degrés égaux, mais en longueurs correspondant à l'intensité des courants ou tout au moins dans lesquels l'échelle, si elle est divisée en degrés, est accompagnée d'une table de réduction (V. ÉTALONNAGE.)

Galvanomètre Fleming. — M. Fleming a imaginé un galvanomètre, représenté fig. 9, pour la mesure des courants alternatifs. L'appareil se compose d'une bobine B, en fil de cuivre recouvert de soie et d'une résistance de 200 à 300 ohms, à l'intérieur de laquelle est un disque en feuille de cuivre A, suspendu au moyen d'une suspension unifilaire en fibre de soie ou de verre. La position normale du plan de ce disque est à 45° sur l'axe de la bobine. La suspension porte un miroir léger M, analogue à celui du galvanomètre à miroir de Thomson. Les deux

bornes *b* et *b'* servent à relier la bobine au circuit. Quand on envoie un courant continu à travers la bobine B, le disque A ne dévie pas, mais avec un courant alternatif, le plan du disque tend à être ramené dans l'axe de la bobine, c'est-à-dire dans la position *xy*. Cette déviation est due à la réaction des courants de Foucault sur le courant primaire. Si l'on remplace le disque de cuivre par un disque de fer doux, l'action se complique à cause de la tendance qu'il a à se placer dans le sens des lignes de force du champ, mais l'appareil devient plus sensible: il peut indiquer les courants induits d'un téléphone Bell. (*Lumière électrique*, n° 21, t. XXIV.)

Galvanomètre Maiche. — Cet appareil, représenté fig. 10, se compose essentiellement d'un aimant en

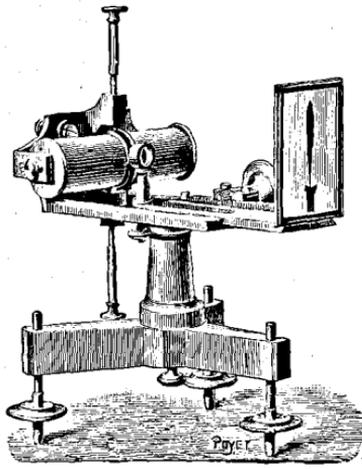


Fig. 10.

fer à cheval à branches assez écartées, dont l'un des pôles supporte par attraction un fragment d'aiguille qui ne touche à ce pôle que par sa pointe. Ce fragment d'aiguille se trouve suspendu entre deux bobines dont le fil est parcouru par le courant; il est dévié, soit d'un côté soit de l'autre, suivant le sens de ce courant. Pour mieux apercevoir ces déviations, un pinceau lumineux provenant d'une lampe est dirigé sur l'aiguille, traverse une lentille biconvexe que l'on aperçoit entre les deux électrodes et en avant de ceux-ci, et vient former une image renversée sur un écran translucide. L'aiguille d'une part et l'écran de l'autre sont placés, bien entendu, aux foyers conjugués de la lentille. Cet appareil, qu'on peut rendre très sensible, avait été imaginé par M. Maiche pour remplacer le galvanomètre à miroir de sir W. Thomson employé aux transmissions sous-marines; il est, en effet, d'une construction beaucoup plus facile que ce dernier. Depuis lors, M. Maiche a abandonné ce système; il est parvenu à perfectionner l'appareil récepteur du siphon recorder de sir W. Thomson, et a imaginé un nouveau manipulateur automatique permettant d'utiliser d'une manière très facile le siphon recorder sur des câbles de 5.000 kilomètres

de longueur tels que ceux qui réunissent l'Europe à l'Amérique. (V. TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE.)

Observations sur l'usage des galvanomètres. — Quand on se sert de galvanomètres de précision, il faut prendre certaines précautions ayant pour but d'empêcher que l'instrument ne puisse être traversé par un courant trop énergique susceptible de modifier le degré d'aimantation de l'aiguille, ou d'échauffer le fil fin de la bobine au point de détruire la substance isolante qui le recouvre. Enfin, lorsque l'appareil est très sensible, il arrive souvent que la déviation étant trop grande, l'index lumineux sort des limites de l'échelle (le cas se présente pour les galvanomètres de sir Thomson et de MM. Marcel Deprez et d'Arsonval, ainsi que pour les galvanomètres d'intensité ou AMPÈRÈMÈTRES).

On évite ces divers inconvénients en n'envoyant dans la bobine du galvanomètre qu'une certaine portion du courant et non le courant tout entier. A cet effet, on place entre les bornes de l'instrument un CONDUCTEUR DE DÉRIVATION ou, suivant l'expression anglaise consacrée par l'usage, un *shunt*.

On peut facilement calculer la résistance du shunt de façon à faire subir au courant telle modification que l'on désire et ne laisser passer dans l'instrument de mesure qu'une partie bien déterminée du courant. Soient *I* l'intensité du courant total, *G* la résistance du galvanomètre, *S* la résistance du shunt, *i* l'intensité du courant passant dans le galvanomètre, $\frac{1}{n}$ l'intensité du courant passant dans le shunt.

Isé divisera en deux portions inversement proportionnelles aux résistances et aura

$$i = I \frac{S}{G+S} \quad i = I \frac{G}{G+S}$$

L'intensité de la portion du courant passant dans le galvanomètre est réduite proportionnellement à la quantité $\frac{S}{G+S}$. Si donc on veut la diminuer dans le rapport $\frac{1}{n}$, on posera l'équation

$$\frac{S}{G+S} = \frac{1}{n}$$

d'où l'on tire

$$S = G \frac{1}{n-1}$$

Ce qui indique que la résistance du shunt doit être $n-1$ fois plus petite que celle du galvanomètre.

Ordinairement les shunts sont construits de telle sorte qu'ils réduisent l'intensité dans le galvanomètre au $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, et au $\frac{1}{1000}$ de sa valeur. Leurs résistances sont donc le $\frac{1}{9}$, le $\frac{1}{99}$ ou le $\frac{1}{999}$ de celle du galvanomètre.

Il faut remarquer que l'introduction d'un shunt dans le circuit diminue la résistance entre les bornes du galvanomètre et augmente par suite l'intensité du courant. Si on veut donc conserver à celle-ci sa valeur première, il faut ajouter dans le circuit principal une bobine qu'on appelle *résistance de compensation*.

Cette résistance que nous désignerons par *r*, se calcule comme suit :

Sans le shunt la résistance du galvanomètre est *G*; avec le shunt elle est $\frac{GS}{G+S}$ d'après la loi des courants dérivés, donc, pour que la résistance du circuit ne change pas, il faut avoir

$$r = G - \frac{GS}{G+S} = \frac{G^2}{G+S}$$

Il en résulte qu'un galvanomètre shunté au $\frac{1}{n}$ et

pourvu de sa résistance de compensation est un galvanomètre de même résistance mais n fois moins sensible.

On appelle *pouvoir multiplicateur du shunt* le rapport du courant qui traverse le galvanomètre sans shunt à celui qui traverse le galvanomètre shunté; ce rapport m a pour valeur $m = \frac{G+S}{S}$.

La *constante d'un galvanomètre* est la déviation produite sur ce galvanomètre par un élément Daniell dans un circuit dont la résistance totale est de 1 megohm. En shuntant le galvanomètre au $\frac{1}{n}$, si on désigne par r la résistance intérieure de l'élément Daniell, par G_1 celle du galvanomètre shunté et par R une résistance intercalée dans le circuit, telle que $r + G_1 + R = \frac{1.000.000}{n}$, la déviation du galvanomètre sera la constante.

La *formule de mérite d'un galvanomètre* est la résistance du circuit qui, avec un élément Daniell, produit l'unité de déviation sur l'échelle divisée du galvanomètre.

Si dans un même circuit on intercale un élément Daniell (résistance r), un galvanomètre shunté (résistance $G_1 = \frac{G \cdot S}{G+S}$), on obtiendra une déviation de d divisions. Le pouvoir multiplicateur m du shunt est $m = \frac{G+S}{S}$ et la formule de mérite est $m d (r + R + G_1)$; elle est d'autant plus grande que le galvanomètre est plus sensible.

On intercale souvent dans le circuit d'un *VOLTMÈTRE* étalonné des *bobines de circuit* qui ont pour but d'accroître le champ des indications de l'instrument. Ces bobines ont en général une résistance égale à 1, 2, 3... n fois celle du voltmètre et il faut alors multiplier par 2, 3, 4... $(n+1)$ les déviations de l'appareil pour avoir la valeur de la quantité mesurée.

Influence de la résistance des galvanomètres.
— Si la résistance d'un galvanomètre n'est pas négligeable par rapport à celle du circuit où on l'introduit, la mesure de la déviation de l'aiguille n'indiquera pas l'intensité du courant primitif. Pour obtenir celle-ci, il convient de faire une seconde mesure de l'intensité du courant, après avoir introduit dans le circuit une résistance auxiliaire connue. Connaissant les deux intensités correspondant à ces lectures, il sera facile d'en déduire l'intensité primitive, en éliminant la résistance du galvanomètre et celle du circuit.

Soient, en effet, E la force électromotrice totale développée dans le circuit, R sa résistance, g celle du galvanomètre et r la résistance additionnelle connue dont on dispose.

Désignons par I l'intensité primitive, I_1 l'intensité lue sur le galvanomètre lorsqu'il est seul introduit dans le circuit, et I_2 l'intensité lue lorsqu'on y a introduit la résistance additionnelle r ; on aura, d'après la loi d'Ohm

$$\begin{aligned} (1) \quad I &= \frac{E}{R}, \\ (2) \quad I_1 &= \frac{E}{R+r}, \\ (3) \quad I_2 &= \frac{E}{R+r+r}. \end{aligned}$$

Nous pouvons éliminer E et R entre ces 3 équations, et il viendra

$$I = \frac{I_1 I_2 r}{I_2 (r+r) - I_1 r}.$$

Quand on se borne à mesurer l'intensité par une seule expérience, on commet une erreur égale à

$$I - I_1 = \frac{E r}{R(R+r)}.$$

Le rapport de l'erreur commise à l'intensité réelle est

$$\frac{r}{R+r}.$$

On en conclut, par exemple, qu'un galvanomètre donnera l'intensité d'un courant à $\frac{1}{50}$ près, si sa résistance est égale au $\frac{1}{50}$ de celle du circuit.

Au lieu d'introduire une résistance additionnelle dans le circuit, on peut encore introduire un shunt de résistance connue entre les deux bornes du galvanomètre. Soit s cette résistance.

La première observation aura donné

$$I = \frac{E}{R+r}.$$

La seconde donnera

$$I_1 = \frac{E s}{R+r+s},$$

d'où

$$I = \frac{E}{R} = \frac{r I_1}{s(1 - I_1)}.$$

Profil de la section d'un galvanomètre qui correspond au maximum d'effet sur l'aiguille. — La résistance d'un galvanomètre a pour premier effet de diminuer l'intensité du courant que l'on veut mesurer. D'un autre côté, l'action exercée par un courant sur l'aiguille aimantée augmente au fur et à mesure que l'on augmente le nombre de tours du fil sur le cadre du galvanomètre; c'est-à-dire que l'on accroît sa résistance.

Si l'on remarque que l'action exercée par le cadre du galvanomètre sur l'aiguille aimantée serait la même si on remplaçait ce cadre par un seul conducteur ayant la même section que lui et parcouru par un courant d'intensité égale à celle qui parcourt le conducteur enroulé, multipliée par le nombre de tours qu'il effectue, on arrive à cette conclusion que le maximum de sensibilité d'un galvanomètre correspondra à un certain profil de la section de son cadre, et à un certain diamètre du fil qui, enroulé, occupera le volume engendré par le déplacement de ce profil.

Nous déterminerons d'abord la forme qu'il convient de donner à ce profil.

Désignons par O un des pôles de l'aiguille aimantée, qui, si elle est très petite, peut être considérée comme située au centre du cadre; par ACB la projection d'un tour situé à une distance OA du centre; par r la distance OA , et par α l'angle AOX (fig. 11).

Une longueur de fil l enroulée sur la circonférence

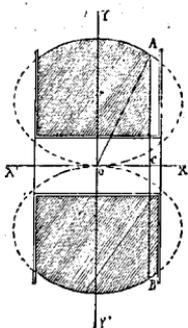


Fig. 11.

qui se projette en AOB, exercera sur le pôle O une force dont la composante suivant la normale OX au plan du courant sera

$$\frac{i \sin \alpha}{r^2}$$

i étant l'intensité du courant, cette force sera constante en même temps que l'expression

$$\frac{\sin \omega}{r^2}$$

Posons

$$\frac{\sin \omega}{r^2} = a'$$

nous aurons l'équation d'une courbe en coordonnées polaires. Celle-ci transformée en coordonnées rectilignes devient

$$a' y^2 = (x^2 + y^2)^2$$

Si l'on construit cette courbe, comme nous l'avons fait (fig. 11) et si l'on considère le volume engendré par sa révolution autour de l'axe XX', lorsque ce volume aura été complètement rempli par les spires successives du fil du galvanomètre, les choses se passeront comme si les différentes spires du fil étaient disposées suivant des surfaces d'égalité d'action.

A égalité de longueur de fil et à égale distance du centre, l'effet produit sur l'aiguille aimantée sera maximum, si le fil peut être considéré comme enroulé sur une de ces surfaces.

D'ordinaire, on ne s'attache pas, dans la pratique, à réaliser complètement ces conditions, à cause des difficultés que présenterait l'enroulement. On se borne à donner au profil extérieur du cadre une forme analogue à celle qui est représentée par des hachures sur la fig. 11.

Nombre de tours du fil enroulé sur le cadre qui correspond à l'effet maximum. — Nous venons de voir quelle était la surface sur laquelle il convenait d'enrouler le fil. Nous allons chercher maintenant sur quelle épaisseur il convient de l'enrouler.

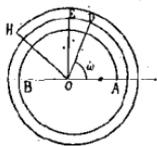


Fig. 12.

Nous suivrons pour cela une méthode due à M. Vaschy.

Nous supposons le fil enroulé en spirale, ce qui ne diminue en rien la généralité du résultat.

Désignons par :

c , la conductibilité du fil enroulé sur le cadre;
 s , la section du fil enroulé sur le cadre;
 r , la distance de deux spires, égale au diamètre du fil renoué;

l , la distance OA du centre au point de départ de la première spire de la spirale (V. fig. 12).

En appelant ω l'angle que fait avec l'axe OA le rayon vecteur mené du centre du galvanomètre à un point quelconque D, augmenté d'autant de fois 2π qu'il aura fallu faire de tours sur la spirale pour atteindre ce point, la longueur e du rayon vecteur OD est donnée par l'expression

$$e = l + \frac{2\pi \omega}{2\pi} = l \left(1 + \frac{\omega}{2\pi} \right)$$

La longueur d'un élément de fil DE est $rd\omega$, et sa résistance

$$\frac{rd\omega}{cs}$$

La longueur d'arc de la spirale, depuis l'origine A jusqu'à un point quelconque H est, en appelant ω l'angle total décrit pour arriver à ce point

$$\int_0^{\omega} rd\omega = \int_0^{\omega} l \left(1 + \frac{\omega}{2\pi} \right) d\omega = l \left(\omega + \frac{\omega^2}{4\pi} \right)$$

La résistance totale du fil enroulé entre les points A et H est donc

$$\frac{l}{cs} \left(\omega + \frac{\omega^2}{4\pi} \right)$$

Si l'on désigne maintenant par n le nombre de tours de chaque spire et par n' le nombre des spires parallèles, la résistance r du fil du galvanomètre est

$$r = \frac{rcn'}{cs} \left(2n + \frac{\pi}{2} n^2 \right)$$

La résistance totale du circuit sera, en désignant par R sa résistance primitive

$$R + r$$

L'intensité du courant deviendra

$$i = \frac{E}{R+r} = \frac{E}{R + \frac{rcn'}{cs} \left(2n + \frac{\pi}{2} n^2 \right)}$$

L'action d'un élément DE = $d\omega$ sur le pôle magnétique O (v. fig. 12) est proportionnelle à

$$\frac{id\omega}{e^2} = \frac{id\omega}{e} = \frac{id\omega}{l \left(1 + \frac{\omega}{2\pi} \right)}$$

En intégrant cette expression entre les limites 0 et ω , nous avons :

$$i \int_0^{\omega} \frac{d\omega}{1 + \frac{\omega}{2\pi}} = \frac{2\pi i}{\pi} \log. \text{nép.} \left(1 + \frac{\omega}{2\pi} \right)$$

ou, en posant

$$\frac{\omega}{2\pi} = n,$$

et remplaçant i par la valeur trouvée ci-dessus

$$\frac{2\pi n E}{\pi} \log. \text{nép.} \left(1 + \frac{\omega}{2\pi} \right) = \frac{rcn'}{cs} \left(2n + \frac{\pi}{2} n^2 \right)$$

Il s'agit de rendre cette expression maxima en faisant varier n . Nous y arriverons en égalant sa dérivée par rapport à n , à zéro :

$$2 \left(1 + \frac{\pi}{2} n \right) \log. \text{nép.} \left(1 + \frac{\pi}{2} n \right) - \left(\frac{2\pi}{2} n + \frac{\pi^2}{2} n^2 \right) - \frac{Rrcn'}{cn^2 s} = 0$$

Or, on a

$$\frac{2\pi}{2} + \frac{\pi^2}{2} n^2 = \left(1 + \frac{\pi}{2} n \right)^2 - 1,$$

$$2 \log. \text{nép.} \left(1 + \frac{\pi}{2} n \right) = \log. \text{nép.} \left(1 + \frac{\pi}{2} n \right)^2$$

$$1 = \log. \text{nép.} e;$$

L'équation précédente devient donc :

$$\frac{\left(1 + \frac{\pi}{2} n \right)^2}{e} \log. \text{nép.} \frac{\left(1 + \frac{\pi}{2} n \right)^2}{e} = \frac{Rrcn'}{cn^2 s} - 1$$

Le deuxième membre est connu, représentons-le par k , et posons

$$\left(1 + \frac{R}{I}n\right)^n = x.$$

L'équation deviendra

$$x \log. n \text{é}p. x = k.$$

Pour chaque galvanomètre dont le cadre comporterait plusieurs circuits superposés mais distincts, on pourrait construire un tableau donnant les valeurs successives de l'expression ($x \log. n \text{é}p. x$). Lorsqu'on aurait une mesure précise d'intensité à faire, il conviendrait de se rendre compte, par une première expérience, de la résistance R du circuit, d'en déduire les différentes valeurs de l'expression k pour les divers groupements de circuit que l'on peut réaliser, et enfin de choisir pour opérer la mesure le mode de groupement pour lequel la valeur de ($x \log. n \text{é}p. x$) se rapprocherait le plus de la valeur correspondante de k .

Mét. — Au point de vue médical, il n'y a que peu de chose à dire sur le galvanomètre. La forme, la dimension, la disposition extérieure d'un galvanomètre médical sont d'une importance secondaire. L'essentiel est qu'il remplisse les trois conditions suivantes :

1° *Graduation en ampères.* — Gaiffe, dès 1874, a doté la thérapeutique d'instruments de ce genre. Cette simple innovation a eu l'influence la plus heureuse sur les progrès de l'électrothérapie. La plupart des auteurs ont adopté la division en milliampères, qui est insuffisante. Celle en dix-millièmes est nécessaire pour les applications exactes (R. Vigouroux). Pour les besoins ordinaires de la galvanisation, l'étendue de l'échelle ne doit pas dépasser 200 divisions (de un dix-millième). — Pour la GALVANOCAUSTIQUE chimique l'instrument doit pouvoir mesurer jusqu'à 1 ampère et jusqu'à 12 ou 15 pour la GALVANOCAUSTIQUE thermique.

2° *Lecture facile.* — Les instruments à indications proportionnelles méritent la préférence, cela est évident. D'autre part, l'instrument étant posé sur une table devant laquelle on est assis, la lecture n'est pas commode avec un galvanomètre horizontal. Un certain nombre de médecins, surtout en Allemagne, préfèrent pour cette raison, le galvanomètre à aiguille verticale. Mais les galvanomètres verticaux ordinaires ont des inconvénients. Une disposition intermédiaire, adoptée depuis par quelques constructeurs, avait été donnée à un galvanomètre horizontal par le Dr R. Vigouroux à l'Exposition de 1881. Le cadran formait une surface de tronc de cône sur laquelle se projetait l'extrémité recourbée de l'aiguille.

3° *Aériodécilité.* — Il n'est pas nécessaire qu'elle soit absolue. La lenteur des oscillations des galvanomètres ordinaires les rend absolument impropres à l'électro-diagnostic.

À ces trois points de vue, le galvanomètre de MM. Deprez et d'Arsonval présente de grands avantages (R. Vigouroux). — (V. VOLTMÈTRE, MESURE.)

GALVANOMÉTRIQUE. — Qui a rapport au galvanomètre.

GALVANOPLASTIE. — Opération par laquelle on fait déposer sur un objet une couche d'un métal préalablement dissous dans un liquide.

Le procédé de moulage et de métallisation appelé galvanoplastie repose sur les principes de l'ÉLECTROLYSE et de l'ÉLECTROCHIMIE. On sait qu'un courant électrique, lorsqu'il traverse un liquide, le décompose.

Ainsi, lorsqu'on fait passer un courant à travers une dissolution d'un sel métallique, l'acide se porte au pôle positif et la base au pôle négatif. Dans certaines conditions, que nous exposerons plus loin, le métal déposé au pôle négatif, au lieu d'être à l'état de simple poudre, forme une masse compacte, d'abord légèrement malléable, mais qui ne tarde pas à devenir solide. Et comme il est déposé par particules excessivement fines, presque impalpables, il recouvre exactement la surface sur laquelle il est porté, de manière à en reproduire jusqu'aux moindres détails. Quand on fait déposer le métal en couche mince et adhérente, on obtient la métallisation (dorure, argenture, etc.). Quand, au contraire, on fait une couche épaisse (ce qui n'est qu'une question de temps), on obtient des empreintes et des moulages. Jusqu'à l'invention de la galvanoplastie, ces résultats n'étaient obtenus qu'à l'aide de procédés coûteux ou malsains, c'est-à-dire par les amalgames au mercure ou par la fonte. On voit que cette découverte a amené une véritable révolution dans l'industrie.

On a avancé que les anciens Égyptiens connaissaient déjà les procédés de la galvanoplastie. On remarque, en effet, sur un grand nombre d'objets provenant de Memphis ou de Thèbes, tels que vases en terre cuite, pointes de lance en bois, etc., une couche de métal plus ou moins épaisse où il paraît impossible de reconnaître la moindre trace de soudure ou de travail manuel. Cette couche est si uniforme, sa formation cristalline est tellement semblable à celle des produits obtenus par la galvanoplastie, que des savants n'ont pas hésité à admettre que cet art était connu du temps des Égyptiens. Il convient d'ajouter que des écrivains anciens nous parlent de coupes en terre cuite paraissant être en argent et ajoutent qu'on obtenait ce résultat en les plongeant dans un bain dont ils n'indiquent pas la composition. Les Égyptiens auraient pu, dit-on, être facilement mis sur la voie de la découverte qui nous occupe par les abondants minerais de sulfate de cuivre que fournit l'Afrique, minerais qui donnent en abondance le vitriol de Chypre, où il suffit de plonger pendant quelque temps un objet en fer pour le couvrir. (V. l'article de M. Crüger, dans le *Polytechnisches Journal*, de Dingler; 1851, 3^e série, t. XXII, p. 156.)

Dès 1800, Volta, l'inventeur de la pile électrique, et un peu plus tard Brugnatelli (*Annali di chimica*, 1803) avaient déjà fait des expériences qui auraient dû mettre les savants sur la voie; le second, en particulier, était arrivé à dorer parfaitement au moyen de la pile; mais on n'avait donné aucune suite à ces essais, lorsque Jacobi, à Saint-Petersbourg, et Spencer, en Angleterre, parvinrent simultanément, quoique indépendamment l'un de l'autre, à appliquer la pile voltaïque aux usages que nous avons mentionnés plus haut. Leur découverte fit d'autant plus de bruit que chacun prouva d'une manière différente l'utilité du nouveau procédé, et qu'il y eut une discussion assez vive relativement à la priorité de l'invention.

Il est à remarquer, en outre, que tous deux se servirent du sulfate de cuivre qui, de tous les sels métalliques, est celui qui se prête le mieux à ce genre d'opérations. Mais revenons aux expériences de Jacobi et de Spencer.

Le premier parvint, à l'aide d'un courant voltaïque, à obtenir une épreuve en relief d'une planche de cuivre gravée en creux, puis, par le même procédé, une contre-épreuve, reproduisant, avec une exactitude parfaite, la planche primitive. L'épreuve en relief devenait ainsi un moule, avec lequel on pouvait multiplier à l'infini les exemplaires d'une plaque gravée; avantage précieux, puisque les planches de cuivre

s'usent assez rapidement et qu'une seconde gravure est rarement aussi bonne que la première. Quant à Spencer, il produisit d'abord des plaques de cuivre portant des caractères en relief et pouvant servir à la typographie, résultat qu'il obtint en recouvrant la plaque de cuivre d'un vernis non conducteur, puis traçant avec une pointe métallique des lettres dans ce vernis, de façon à mettre le cuivre à nu, comme dans la gravure à l'eau-forte; mais dans le but opposé, puisque dans cette dernière on obtient, après avoir lavé le vernis, une gravure en creux parce que le métal est attaqué par l'acide, et qu'ici, au contraire, on obtient des caractères en relief. En effet, si l'on plonge la plaque de cuivre, préparée comme nous l'avons dit, dans un bain de sulfate de cuivre et qu'on fasse passer le courant électrique, le cuivre en dissolution sera déposé en tous les endroits de la plaque qui auront été mis à nu. M. Spencer fit tirer au moyen de ces planches un certain nombre d'épreuves qui furent distribuées dans le public. Il arriva aussi à reproduire l'empreinte de médailles. Scellement, il ne put séparer la médaille de la couche qui s'y était déposée. Nous verrons plus loin comment on doit s'y prendre pour obtenir de bons moulages.

Ces premiers procédés furent rapidement perfec-

tionnés, et il serait difficile de déterminer la part qui, dans l'invention de la galvanoplastie, revient à chacun des savants qui s'en sont occupés jusqu'à nos jours, les découvertes ayant été souvent faites presque simultanément par plusieurs personnes. Il suffira de citer ici les noms des plus méritants; ce sont MM. Becquerel, Boquillon, Elsner, Grove, Mason, Smea, Elkington, Sally, Soret, Ch. Chevalier, etc.

Occupons-nous maintenant de décrire les procédés les plus importants. Les premiers points à traiter ici sont : la disposition générale des appareils, la composition des bains, la préparation des moules, les conditions essentielles à remplir pour opérer sûrement, enfin les principales applications. Nous commençons par les *appareils*, en supposant d'abord qu'on opère avec du sulfate de cuivre et qu'on veuille obtenir une médaille au moyen d'un moule. Disons d'abord qu'on distingue les appareils en *appareils simples* et en *appareils composés*.

Dans les *appareils simples*, la pile et le vase renfermant la dissolution ne font qu'un, ou plutôt le bain de sulfate de cuivre et le moule sont deux des éléments constitutifs de la pile. En effet, on prend un vase V (fig. 1) en verre ou en faïence, renfermant la dissolution de sulfate de cuivre; dans ce vase on en



Fig. 1.

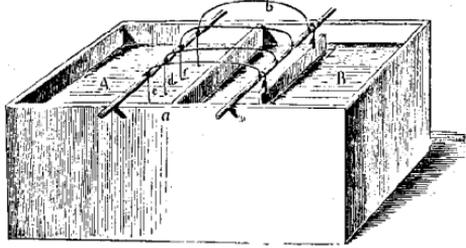


Fig. 2.

plonge un second P, en terre cuite non vernie et poreuse, plein d'eau acidulée et dans lequel est suspendue une lame de zinc Z; cette lame de zinc est le pôle négatif de la pile; le moule m, qui plonge dans le grand vase (et dans le sulfate de cuivre) en est le pôle positif. Dès qu'on relie la plaque de zinc au moule par un fil de laiton, le courant électrique s'établit; le cuivre en dissolution dans le bain est entraîné sur le moule et y adhère. Mais comme, à mesure que le dépôt métallique s'effectue, la dissolution s'appauvrit, il faut avoir soin de la maintenir à un degré de saturation suffisant, en y ajoutant de temps en temps des cristaux de sulfate de cuivre, ou mieux, en suspendant à la partie supérieure du bain, un sac de toile S rempli de cristaux.

Un autre appareil simple est celui que décrit M. Becquerel, dans ses *Éléments d'électro-chimie*: on prend une caisse en bois (fig. 2) rectangulaire et enduite intérieurement avec des substances inattaquables par les dissolutions, avec de la gutta-percha, par exemple. On partage cette caisse en deux par une cloison perméable ab, nommée *diaphragme*. Le premier compartiment A contient la dissolution faite à froid de sulfate de cuivre, l'autre B contient de l'eau légèrement acidulée. Dans ce dernier plonge une lame de zinc Z, placée à quelques centimètres du

diaphragme; elle est de surface à peu près égale à celle des moules qui sont placés dans l'autre compartiment, suspendus en c, d, e, parallèlement à la lame de zinc. Aussitôt que la communication est établie, par des fils de laiton, entre les moules et le zinc, le dépôt commence. Comme dans le cas précédent, il faut avoir soin d'entretenir la saturation du bain de sulfate de cuivre.

Les appareils simples qui ont été primitivement employés pour opérer en petit peuvent également servir aux opérations industrielles. Pour ne citer qu'un exemple, la maison Oudry a appliqué ce genre d'appareils pour cuivrer galvaniquement les candélabres à gaz de la Ville de Paris et des fontaines et statues monumentales.

Les appareils composés sont ceux dans lesquels la pile et le bain sont complètement séparés. On peut alors, en employant une ou plusieurs piles, augmenter et diminuer à son gré la force du courant, et il devient beaucoup plus facile de manier les diverses pièces de l'appareil. Cet appareil se compose (fig. 3) d'une pile P, formée de deux éléments, cuivre C et zinc Z, plongés dans de l'eau acidulée, et d'une caisse M contenant le bain de sulfate de cuivre. Sur cette caisse reposent deux tringles : à l'une d'elles cd est suspendue une plaque de cuivre; à l'autre ab sont

attachés les moules. Pour décomposer la dissolution et précipiter le cuivre, on établit le courant en mettant en communication par un fil de laiton l'élément cuivre de la pile avec la plaque de cuivre suspendue dans la caisse, qui devient ainsi le pôle positif de l'ap-

pareil; on fait de même communiquer l'élément zinc de la pile avec les moules qui forment le pôle négatif. Comme dans les cas précédents, le cuivre contenu dans le sulfate vient se fixer sur les moules; seulement la dissolution ne s'affaiblit pas, parce que

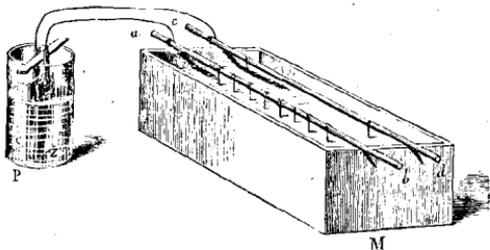


Fig. 3.

l'acide sulfurique dégagé par la décomposition est transporté au pôle positif, c'est-à-dire sur la plaque de cuivre, et reconstitué constamment du sulfate de cuivre. L'idée d'employer comme électrode positive un métal de même nature que celui qui est en dissolution dans le bain est due à Jacobi.

Bains galvanoplastiques. — On ne peut pas employer indifféremment tous les sels métalliques pour en composer des bains galvanoplastiques, attendu que certains d'entre eux jouissent seuls de la propriété de donner, lorsqu'ils sont décomposés par le courant, un dépôt métallique convenable.

Voici la composition qualitative des bains galvanoplastiques les plus employés :

1° **Bain de cuivre pour galvanoplastie et cuivrage à épaisseur :** sulfate de cuivre légèrement acidulé.

2° **Bain de cuivre pour le cuivrage des objets qui seraient attaqués par le sulfate acide et pour le cuivrage des objets sur lesquels le métal définitif à déposer n'adhérerait pas :** Cyanure double de potassium et de cuivre (additionné quelquefois de bisulfite de soude).

3° **Bain de cuivre pour le cuivrage direct et adhérent des objets de fonte ou de fer, tels que statues, candélabres, fontaines, etc., etc. :** Tartrate et oxalate de cuivre ammoniacal.

4° **Bain de laitonage ou cuivrage jaune pour recouvrir d'une couche de laiton ou de cuivre jaune les petits objets de quincaillerie :** Bisulfite de soude, cyanure de potassium, acétate de cuivre et protochlorure de zinc.

5° **Bain de nickelage pour recouvrir d'une couche mince ou épaisse de nickel les objets métalliques quelconques :** Sulfate double de nickel et d'ammonium ou chlorure double de nickel et d'ammonium (le premier est plus employé), ou encore sulfate de nickel et tartrate d'ammoniaque.

6° **Bain de dorure pour recouvrir à n'importe quelle épaisseur des objets quelconques :** Cyanure double d'or et de potassium.

7° **Bain d'argenture pour recouvrir à n'importe quelle épaisseur des objets quelconques :** Cyanure double d'argent et de potassium.

8° **Bain d'étain pour recouvrir les menus objets, tels qu'épingles, agrafes, câblés de chaussure, etc., d'une mince couche d'étain :** Pyrophosphate de soude et protochlorure d'étain.

9° **Bain de fer pour la reproduction galvanoplastique des médailles, bustes, et objets d'art, ainsi que pour leur décoration :** Oxalate de fer.

Il y a encore bien d'autres BAINS GALVANOPLASTIQUES.

Ainsi M. E. Senet a trouvé moyen de déposer galvanoplastiquement l'aluminium aussi facilement que le cuivre ou l'argent. Pour cela, il fait arriver un courant de 6 à 7 volts et d'environ 4 AMPÈRES dans une solution saturée de sulfate d'alumine en présence d'une dissolution de chlorure de sodium; ces deux liquides étant séparés l'un de l'autre par un vase poreux, il se forme un chlorure double d'aluminium et de sodium qui se décompose au fur et à mesure de sa production, et l'aluminium mis en liberté se porte sur l'objet à recouvrir qui sert d'électrode négative. Ce procédé, peu coûteux, peut être appliqué à la préparation de l'aluminium, ce qui permet d'environner la solution du problème de la fabrication économique de ce métal.

M. A. Bulle est parvenu à effectuer le dépôt direct et adhérent du palladium sur le fer, l'acier et les autres métaux. On peut faire varier l'épaisseur du dépôt suivant les besoins et l'appliquer directement sur tous les objets métalliques finis et polis. Le palladium a un éclat et une blancheur qui permettront son emploi dans l'horlogerie, pour les instruments de précision, l'optique, la chirurgie, etc., au double point de vue de la décoration et de la conservation. M. Bulle a signalé en particulier l'emploi du palladium pour préserver les règles divisées et les verniers dont la moindre oxydation rend la lecture très difficile.

Moules. — Le moule doit d'abord être bon conducteur, sans cela il intercepterait le courant et n'attirerait plus le métal; il ne doit pas être ataquable par la dissolution; enfin il ne doit pas régler sur le métal déposé. Quand on se sert comme moule sur l'objet même qu'il s'agit de reproduire, on dit qu'on opère à moule perdu, par la raison que les moules, de quelque nature qu'ils soient, s'ils restent longtemps plongés dans le bain, courent grand danger d'être gâtés ou détruits. Il est à remarquer, en outre, qu'au lieu d'obtenir ainsi un exemplaire de forme identique, on n'obtient qu'une empreinte renversée, qui devient alors le véritable moule et peut à son tour servir à reproduire le modèle primitif; c'est

comme une épreuve négative de photographie. Pour la reproduction directe, on a recours à ce qu'on appelle le *surmoulage*; c'est-à-dire qu'on fait d'abord une empreinte négative sur laquelle on reprend une empreinte positive.

On pourrait à cet effet employer des moules en métal; mais la plupart offrent de graves inconvénients, en ce qu'ils sont facilement attaqués. Les seuls métaux qui puissent être employés sont le cuivre, le plomb ou l'alliage de plomb et surtout l'argent, qui n'est précipité que par les sels d'or et de platine, et qui doit être préféré pour obtenir des dépôts d'une grande pureté. Les moules en cuivre se font par la galvanoplastie, en opérant un dépôt sur l'objet dont on veut avoir un moule. Le plomb en feuilles bien nettoyées et bien planes peut, par la pression, recevoir l'empreinte des gravures les plus délicates. Les alliages de plomb qu'on peut employer sont : la soudure des plombiers, le métal fusible de Darcel, celui de Newton et celui des caractères typographiques.

Tous ces procédés étaient loin d'atteindre la perfection de moulage que donnent les matières plastiques : la cire à cacheter, la cire vierge, la stéarine, le papier, le plâtre, le soufre, la gutta-percha ou la gélatine; mais, comme ces matières ne sont pas conductrices, on a tourné la difficulté en les métallisant à la surface, ce à quoi l'on arrive aisément en les frottant avec une poudre métallique impalpable : les poudres les plus employées à cet usage sont celles de cuivre et d'argent obtenues en *précipités*, et surtout la plombagine. La plombagine doit être légère, douce, nette, unie, luisante, argentée et d'un grain serré. On l'applique sur le moule à l'aide d'un pinceau fin et soyeux, enduit d'une substance grasse qui sert à retenir la poudre. On peut aussi métalliser les moules en les trempant dans certaines dissolutions métalliques qui précipitent ou déposent facilement; mais la plombagine est toujours préférable. Les moules en métal eux-mêmes ne peuvent servir sans préparation préalable; on est obligé de les dérocher et de les décaper avec le plus grand soin. Remarquons encore que, lorsqu'il s'agit de faire un dépôt métallique adhérent sur le verre ou la porcelaine, sur les poteries en général, on est obligé de les dépolir par l'acide fluorhydrique ou de les recouvrir d'un vernis qui favorise l'adhérence de la plombagine. Lorsqu'on veut déposer le métal sur certaines parties seulement, on rend les autres non conductrices en les recouvrant d'un vernis qu'on ne métallise pas; c'est ce qu'on appelle faire des *éparques*. Les moules en métal Darcel conviennent parfaitement pour la reproduction de petits objets, médailles, portraits, bas-reliefs, etc.; mais ils ne pourraient être employés pour les objets à large surface. Les moules en métal forment facilement corps avec la couche déposée, en sorte qu'on ne peut plus séparer l'un de l'autre; c'est ce qui était arrivé à Spencer, lorsqu'il voulut mouler une médaille de cuivre.

Pour éviter cet inconvénient il suffit de frotter le moule avec de la plombagine.

Une des plus grandes difficultés que l'on rencontre consiste à mouler des objets qui présentent des sinuosités ou des creux très sensibles, sous lesquels la matière risquerait d'être prise après le moulage. On a recours en ce cas à la gélatine ou à la gutta-percha. La première de ces matières a cependant de graves inconvénients, en ce qu'elle se gonfle dans le bain ou se dissout par un contact prolongé avec les acides. Il s'agit dès lors de l'employer avec une rapidité extrême, ce qui ne peut avoir lieu que dans des cas très rares. On est bien parvenu à la rendre insoluble, mais non à empêcher tout à fait le gonflement.

En tout cas, il faut, lorsqu'on s'en sert, appliquer d'abord une couche de plombagine; puis, une fois que le moule est dans le bain, faire passer un courant énergique, dont on diminue l'intensité dès qu'une première couche de métal en dissolution s'est déposée.

En ce qui concerne les moules en gutta-percha, M. Pelletat, de Rouen, a imaginé un moyen pratique de confectionner ces moules sur des objets extrêmement fragiles. En mêlant à la gutta-percha une certaine substance, il lui communique la propriété de devenir très liquide par fusion, et en refroidissant la gutta-percha reprend sa solidité première.

M. Lenoir a imaginé, il y a déjà longtemps, le moyen de reproduire par la galvanoplastie les objets en ronde bosse. Etant donné un moulage en creux de l'objet à reproduire, on plonge le moule, dont l'intérieur a été rendu conducteur, dans un bain de cuivre. Le pôle positif de la pile communique avec une silhouette grossière en fils de platine, représentant la forme intérieure du moule; le pôle négatif communique avec le moule. Le courant étant ainsi mieux distribué force le métal à se déposer d'une manière régulière dans les parties les plus fouillées du moule. Ce procédé n'était praticable que pour la reproduction de petits objets à cause du prix élevé du platine, mais M. Planté l'a avantageusement modifié en remplaçant la carcasse de fils de platine par une carcasse de fils de plomb, de sorte que le procédé est maintenant appliqué aux objets de toute dimension.

Pour séparer les moules de l'empreinte obtenue par la galvanoplastie, on opère suivant la nature du moule. Les moules en plâtre, par exemple, doivent nécessairement être brisés; ils ne s'élèvent que par morceaux. Ceux en cire, en stéarine, en gélatine, en gutta-percha et en métal fusible, doivent être plongés dans l'eau bouillante et sont perdus comme ceux en plâtre. Ceux en gutta-percha cependant peuvent se détacher à froid et servir jusqu'à quatre ou cinq fois; mais c'est assez rare.

Conditions d'application. — Nous arrivons maintenant aux conditions dans lesquelles les opérations doivent être faites pour que leur succès soit assuré. Il importe d'abord de maintenir autant que possible une température de 15° à 30°, pour éviter la cristallisation qui se produit souvent dans le bain lorsque la température est plus basse, ce qui diminue notablement la quantité de métal capable de circuler. Ensuite, la saturation du liquide étant toujours plus grande en haut qu'en bas, en sorte que le métal se déposerait naturellement en couches plus épaisses à la partie inférieure du moule, on doit retourner les moules de temps à autre, ce qui exige une certaine habileté, car, si on ne les retourne pas très promptement, ils s'oxydent et ne sont plus bons conducteurs.

Une autre inégalité dans l'épaisseur de la couche déposée résulte de ce que le courant galvanique agit d'une façon beaucoup moins intense au point même où le fil conducteur est en contact avec le moule, qu'au point le plus éloigné de ce fil; pour y obvier, on attache deux ou plusieurs conducteurs suffisamment longs aux deux extrémités du moule. Ceux des fils qui sont fixés au bord inférieur du moule doivent être recourbés en arrière, car sans cela ils attireraient une grande quantité de métal qu'ils distrairaient à l'opération.

La manière dont se font les dépôts dépend aussi de l'intensité de la pile, du degré de concentration et de conductibilité de la dissolution, de sa température, enfin de la dimension et de la disposition des électrodes.

Mais il est assez difficile de donner à cet égard des instructions précises. C'est surtout une question de pratique personnelle. Dans chaque cas spécial, il faut diriger l'opération d'une manière différente, et ce n'est que l'expérience qui peut former un homme compétent en pareille matière. Suivant que l'on aura modifié l'une ou l'autre de ces conditions, on obtiendra des dépôts d'une nature différente; tantôt secs et cassants comme l'acier, tantôt mous et malléables comme du plomb, tantôt complètement désagrégés en poudre noire cristalline. Le cas le plus favorable est celui où le dépôt est d'abord légèrement malléable, de façon qu'on puisse à la rigueur le presser avec un étauchoir contre le moule, où il devient ensuite complètement dur et solide. On a observé que pour cela il valait mieux, en général, employer un courant peu intense, lent et de force toujours identique.

Applications. — En dehors du moulage proprement dit, la galvanoplastie s'applique :

1^o A recouvrir d'une couche de métal plus précieuse des objets en métal moins précieux; ainsi des alliages de cuivre, de plomb ou de zinc peuvent être doublés d'or ou d'argent : c'est ce qu'on appelle *dorure* ou *argenture galvanique*. On peut aussi brouzer des objets en zinc ou en plomb. Il ne faut pas confondre toutefois avec les produits de la galvanoplastie les objets dits *galvanisés*, qui sont simplement en fer plongés dans de la fonte de zinc pour les préserver de l'oxydation.

2^o A la métallisation d'objets non métalliques; ainsi des objets en bois ou en plâtre, des fruits, des verres et poteries, rendus conducteurs par un des moyens indiqués plus haut, peuvent être recouverts d'une couche de métal plus ou moins mince, qui conserve parfaitement l'objet dans le cas où il serait composé de substances organiques corripibles.

Il suffit d'énumérer les principales de ces applications pour montrer quels progrès la science et les arts ont réalisés dans cette seule branche. On en tire parti, en effet : pour la reproduction des monnaies et des médailles; pour la copie des cachets, sceaux, empreintes, etc.; pour le bronzage, la dorure, l'argenture des statues, bas-reliefs, bijoux, objets de vaisselle, etc. (les exemples les plus connus de cette classe d'objets sont fournis par l'argenterie dite en *rouls*); pour la reproduction de fruits, de légumes et de végétaux de toute sorte, et pour leur transformation en objets métallisés; pour la reproduction des statues et des œuvres de sculpture. L'un des deux lions de Bayreuth, placés actuellement au guichet des Tuileries, sur le quel, a été reproduit par ce procédé. La fameuse colonne Trajane, moulée d'abord en plâtre, a été de même reproduite ensuite en bronze, et c'est la copie ainsi obtenue qui se trouve maintenant au musée de Saint-Germain. Citons encore : la fabrication des caractères et des clichés d'imprimerie; la gravure directe des planches de cuivre ou d'acier, la galvanographie, la reproduction des épreuves photographiques. Même dans la grande industrie, on pourrait encore mentionner le traitement galvanique des minerais de cuivre, et tant d'autres que nous passons.

Parmi ceux qui ont contribué aux progrès et au développement de la galvanoplastie, nous citerons M. Coblenz, qui a introduit en France l'électrolyse, et M. J. Feuguères, qui est parvenu à faire de très belles reproductions. Il excita dans l'espace de trois mois les chevaux, de grandeur naturelle, qui décorent l'archivolte de la porte de l'ancien musée du Louvre, dans la cour Colonnaire. Il créa aussi une industrie nouvelle en reproduisant à bas prix toutes sortes d'objets d'art de petite dimension.

GALVANOPLASTIQUE. — Qui a rapport à la galvanoplastie.

GALVANO-PUNCTURE. — *Méd.* Synonyme d'ÉLECTRO-PUNCTURE. On a recours à ce procédé lorsque le maximum de densité du courant doit se trouver à une certaine profondeur. Les électrodes sont des aiguilles d'or ou de platine, isolées jusqu'au voisinage de la pointe. La galvanopuncture n'est guère plus employée que dans l'électrolyse. Néanmoins, la méthode pourrait être utilisée dans nombre de cas où l'électrisation à travers la peau (électrisation percutanée) est insuffisante, et l'on pourrait faire arriver aux parties profondes non seulement le courant galvanique, mais aussi le faradique et la décharge des condensateurs.

GALVANOSCOPE. — Nom donné à un GALVANOMÈTRE quelconque servant à indiquer le passage d'un courant sans en donner la mesure. Dans les méthodes de réduction à zéro (méthodes de MESURES ÉLECTRIQUES), les galvanomètres jouent le rôle de galvanoscopes.

GALVANOSCOPIQUE. — Qui a rapport au galvanoscope.

GALVANOThÉRAPIE. — *Méd.* Application du GALVANISME à la THÉRAPEUTIQUE. (V. GALVANISATION, THÉRAPEUTIQUE.)

GALVANOTROPISME. — Nom donné au phénomène suivant observé en 1882 par M. Elfvig : « Les racines des plantes croissant dans l'eau s'inclinent d'un côté ou de l'autre, lorsqu'on fait passer un courant électrique à travers l'eau qui les baigne. » M. Brunchorst croit que la courbure dépend de l'intensité du courant; la courbure serait négative dans le cas d'un courant de faible intensité et positive dans le cas d'un courant très intense. M. Rischawi attribue ces courbures à l'action cathodique et base cette théorie sur l'expérience suivante de M. du Bois-Reymond : Deux cylindres en albumine coagulée, posés entre les électrodes, accusent une enflure à l'électrode négative et un rétrécissement à l'électrode positive, ce qui est dû au déplacement dans le sens du courant et sous l'influence de ce courant de l'eau renfermée dans le cylindre. M. Rischawi pense que la courbure des racines offre un autre exemple de ce même phénomène.

Gambey (Henri-Prudence), habile et ingénieux constructeur d'instruments de précision, né à Paris en 1789, mort en 1817. Il avait acquis de bonne heure des connaissances étendues sur toutes les sciences. « De là, dit Arago, cette sûreté de vue, cette netteté de conception, ces dispositions intelligentes et judicieuses que les connaisseurs admirent dans les instruments variés qui sortaient de ses mains. Tous portaient l'empreinte d'une imagination féconde, sagement maîtrisée par les règles inflexibles de la science. »

Gambey débuta comme contremaître à l'École des Arts et Métiers de Compiègne. La mort de son père le rappela à Paris. Il consacra les faibles ressources que cette perte laissait entre ses mains à fonder au faubourg Saint-Denis un petit atelier d'instruments de précision. Les premiers qui lui livra, soit à la marine, soit à différents observateurs privés, furent assez remarqués pour qu'en 1819 les promoteurs de l'Exposition qui allait avoir lieu vinissent le prier de soutenir l'honneur du nom français, humilié par la supériorité des fabricants anglais et allemands. Gambey, qui n'a

vait rien fait en vue de cette Exposition, n'avait plus que deux mois pour se mettre en mesure de répondre à la confiance qu'on lui témoignait. Il mit aussitôt la main à l'œuvre, et, deux mois après, un membre de la Société royale de Londres déclarait que personne en Angleterre ne pourrait faire mieux que le jeune constructeur français, sous les deux rapports de l'élégance et de la précision.

Bientôt après, Gambey construisit son premier théodolite portatif, qui permit à une commission du Bureau des longitudes de luter sans désavantage avec une commission de savants anglais, munis de l'énorme instrument qui est le chef-d'œuvre de Ramsden.

Dès lors Gambey, investi de la confiance de tous les savants, fut associé par eux à leurs projets et appelé à réaliser leurs vœux par l'invention d'instruments nouveaux, propres à permettre les expériences délicates qu'ils méritaient. « Croyait-on, dit Arago, entrevoir des difficultés sérieuses, insurmontables, dans les dispositions projetées des appareils, on manquait rarement d'en référer à Gambey; dans ces occasions, la satisfaction d'avoir contribué au progrès des connaissances humaines était la seule récompense à laquelle son cœur put être sensible. » C'est ainsi qu'il construisit le premier cathétomètre pour Dulong et Petit, l'héliostat pour Fresnel, etc.

Coulomb avait apporté dans la disposition des boussoles de déclinaison des perfectionnements d'une grande importance; mais il avait renoncé à toute amélioration analogue pour les boussoles d'inclinaison. « Ce que Coulomb croyait impraticable a été réalisé avec succès par Gambey. »

Il a construit, pour l'Observatoire de Paris, un équatorial dont la lunette, mise en mouvement par un rouage d'horlogerie de manière à suivre les astres dans leur révolution diurne, se déplace d'une manière continue : condition indispensable, mais difficile à réaliser, le régulateur ne pouvant être qu'un pendule dont les impulsions sont naturellement intermittentes. « L'instrument a réussi, à l'entière satisfaction du Bureau des longitudes. » La lunette méridienne dont se servaient nos astronomes sortait des ateliers de Ramsden; elle a été remplacée par une autre due à Gambey, dans laquelle on a été étonné, après tant d'efforts antérieurs, de trouver encore des perfectionnements et même des appendices tout nouveaux, pour mieux assurer la verticalité et l'orientation du plan de visée. Mais l'œuvre capitale de Gambey est son cercle mural, qu'il venait d'achever peu de temps avant sa mort, et qu'il avait divisé avec une perfection toute nouvelle, par un procédé dont malheureusement il a emporté le secret dans la tombe.

Gambey avait remporté trois fois la grande médaille d'or, aux Expositions de 1819, 1824 et 1829; il fut décoré à l'occasion de celle de 1835, et nommé ingénieur-constructeur de la marine. Peu de temps après, le Bureau des longitudes l'appela dans son sein; enfin, en 1837, l'Académie des Sciences le nomma en remplacement de Mollart. Il est mort l'esprit plein de projets, occupé de l'établissement d'un nouvel équatorial gigantesque, qui a été achevé depuis sur ses plans, et qui occupe aujourd'hui le dôme de la grosse tour de l'Observatoire.

GARDE (Anneau de). — (V. ANNEAU DE GARDE.)

Gauguin (J.-M.). — Physicien français, né en 1810 en Normandie, dans le département du Calvados, mort à Saint-Martin-des-Entrées, près de Bayeux, le 31 mai 1889, après une longue maladie qui l'avait obligé de suspendre depuis plus d'un an ses travaux. C'était un travailleur infatigable, très ingénieux, très

adroit qui faisait lui-même les appareils dont il se servait. C'était de plus un esprit juste et véritablement philosophique. C'est lui qui, après des expériences conduites avec un soin extrême, est arrivé à démontrer que l'électricité, loin de se propager comme la lumière, se propage comme la chaleur en passant par une période variable dont il fixa les lois, et ces lois se trouvent, sans qu'il s'en doutât, correspondre à celles qu'Ohm avait déduites du calcul longtemps auparavant, en s'appuyant sur les formules de Fourier. Ce n'est qu'à partir de cette époque, c'est-à-dire de 1860, qu'on tint compte des lois de propagation de l'électricité pendant sa période variable, lois qu'on ne voulait pas admettre et que, d'ailleurs, la plupart des physiciens ignoraient alors; et c'est ainsi que les magnifiques travaux d'Ohm furent définitivement consacrés dans toute leur intégralité. Gauguin a également entrepris de nombreux et beaux travaux sur la CONDENSATION électrique, les COURANTS thermo-électriques, les courants induits de haute tension, le MAGNÉTISME, etc., qui sont devenues classiques; et sa BOUSSOLE DES TANGENTES, qui permit d'obtenir à peu près exactement les intensités électriques proportionnelles aux tangentes des angles de déviation, est depuis longtemps entre les mains de tous les physiciens. L'ouvrage de M. Mascart sur l'Électricité statique est rempli des ingénieuses découvertes scientifiques de Gauguin. (Extrait du journal *la Lumière électrique*, n° 12, tome II.)

Gauss (Charles-Frédéric), mathématicien et astronome allemand, né à Brunswick le 23 avril 1777, suivant la plupart des biographes, le 30 avril, suivant Poggendorf, mort à Göttingue le 23 février 1855. Issu de parents appartenant à la petite bourgeoisie, il montra, dit-on, pour l'étude des mathématiques, une aptitude plus précoce encore que celle déjà si extraordinaire de Pascal; car, dès l'âge de trois ans, il calculait, résolvait des problèmes numériques, et traçait dans la poussière des lignes et des figures de géométrie. Le petit Charles-Frédéric fut présenté au duc Charles-Guillaume-Ferdinand de Brunswick, lequel se chargea des frais de son éducation, et resta, depuis, son protecteur et son ami. Gauss entra, en 1784, dans une des écoles primaires de Brunswick et, en 1789, au collège de cette même ville. N'ayant bientôt plus rien à apprendre de ses professeurs, il partit, en 1794, pour Göttingue, sans trop savoir encore à quelle science il se vouerait. Mais, étant parvenu à résoudre le fameux problème de la division du cercle en dix-sept parties égales, il se décida pour les mathématiques. C'est à Göttingue qu'il eut pour maître le célèbre Käestner, qui associait dans un culte égal la poésie et la géométrie, et que, pour cette raison, Gauss appelait « le premier des géomètres parmi les poètes, et le premier des poètes parmi les géomètres ».

En 1798, Gauss se rendit à Helmstedt, où il profita des conversations bienveillantes et instructives de Pfaff, et surtout des riches trésors que renfermait la bibliothèque de la ville. Muni d'une abondante provision de notes, il revint à Brunswick, et, en quelques années, il publia une série de travaux qui le placèrent vite au rang des premiers mathématiciens dont l'histoire ait gardé les noms. Un jour, Laplace, à qui l'on demandait quel était le plus grand mathématicien de l'Allemagne, répondit: « C'est Pfaff. — J'aurais cru que c'était Gauss, répliqua l'interlocuteur. — Oh! ajouta Laplace, Pfaff est bien le plus grand mathématicien de l'Allemagne, mais Gauss est le plus grand mathématicien de l'Europe. »

En 1807, l'empereur de Russie offrit à Gauss un siège à l'Académie de Saint-Petersbourg; mais, sur

les instances d'Olbers, il refusa, et il fut nommé (9 juillet 1807) directeur de l'Observatoire de Göttingue et professeur d'astronomie à l'université de cette ville. C'est à ce double poste que Gauss resta attaché jusqu'à la fin de ses jours, sortant si peu, qu'à l'âge de soixante-dix-sept ans, c'est-à-dire un an avant sa mort, il n'avait pas encore vu de locomotive. Il consacrait tout son temps, son génie et son infatigable activité aux recherches les plus abstraites et les plus profondes relatives à toutes les branches des mathématiques, à l'astronomie, à la physique. Doué de la plus heureuse santé, ayant des goûts simples et modestes, indifférent à l'éclat de la gloire au point de ne porter aucune des nombreuses décorations que tous les gouvernements lui avaient adressées, Gauss avait un caractère doux, probe et droit. Apportant le plus grand soin à la rédaction de ses plus courts mémoires comme de ses plus gros ouvrages, il ne voulait rien offrir au public qui n'eût reçu la dernière main de l'ouvrier. Sur son cachet, il avait fait graver un arbre chargé de fruits, et entouré de cette devise : *Pauca, sed matura* (Ils ne sont pas nombreux, mais ils sont mûrs). Aussi a-t-il laissé une grande quantité de travaux, qu'il ne jugeait pas assez mûrs, dont la publication, impatientement attendue, a été retardée par la mort de M. Dirichlet, qui en avait été chargé.

Le génie de Gauss est essentiellement original. S'il traite une question qui a déjà occupé d'autres savants, il semble que leurs travaux lui soient complètement inconnus. Il a su manière d'aborder ses problèmes, sa méthode propre, ses solutions absolument neuves. Le mérite de ces solutions est d'être générales, complètes, applicables à tous les cas que la question est capable d'encompasser. Malheureusement, l'originalité même des méthodes, un peu particulier de dénominations, le laconisme exagéré, peut-être affecté, des démonstrations rendent extrêmement laborieuse la lecture des ouvrages de Gauss. Aussi les écrivains n'ont pas manqué de lui reprocher de s'être rendu inintelligible pour paraître profond : c'est que Gauss ne laisse entrevoir aucune trace de la marche analytique qui l'a conduit à la solution finale. Il avait coutume de dire que, quand un monument est offert aux regards du public, il ne doit plus rester trace des échafaudages qui ont servi à sa construction. En cela, il avait tort ; car, s'il est vrai que les échafaudages doivent être débordés aux regards du public, ils ont été pendant un certain temps accessibles à ceux des architectes. Et, s'ils sont finis, ils sont souvent l'objet de descriptions particulières, qui ne font comprendre le mérite. L'obscurantisme de Gauss a failli faire école. Chez nous, Cauchy et Bertrand, le premier surtout, ont quelquefois écrit de manière à n'être compris par personne.

Autant Gauss est difficile à comprendre, comme écrivain, autant il était clair comme professeur. Il n'était pas, d'ailleurs, de ces mathématiciens qu'on représente comme tellement abîmés dans leur science qu'ils en deviennent étrangers au monde extérieur. Il causait poliment et agréablement de philologie, de philosophie, de politique, et de littérature. Dans les dernières années de sa vie, pour se prouver que son esprit ne baissait pas, il apprit, sans le secours d'aucun maître, le russe et l'hébreu.

Outre l'invention de la méthode des moindres carrés, qu'il imagina presque en même temps que Legendre, on lui doit une méthode générale pour la résolution des équations binômes, dont il tira le moyen inattendu d'insérer au cercle, avec la règle et le compas, le polygone régulier de dix-sept côtés, et, en général, de décomposer en facteurs simples le binôme $x^{2n+1} - 1$ lorsque $2n+1$ est premier ; de nouvelles méthodes pour le calcul des orbites des planètes et des co-

mètes ; les inventions de l'héliotrope et du magnétoscope. Il fut un des premiers à signaler la possibilité de transmettre les signaux à l'aide des courants galvaniques, et contribua ainsi à l'invention du télégraphe électrique. Laplace, nous l'avons dit, le proclamait le premier mathématicien de l'Europe ; il était au moins digne d'être comparé à Laplace lui-même, à Lagrange, à Jacobi, à Cauchy.

La vie de Gauss s'est passée presque tout entière à Göttingue, au milieu de travaux assidus, et sans événements remarquables. Gauss était, au reste, non seulement peu communicatif, mais même morose, on pourrait dire chagrin.

Parmi ses nombreux ouvrages, tous remarquables, nous devons nous borner à citer ceux qui ont rapport au magnétisme :

Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata (Commentaires de la Société de Göttingue, t. VIII, 1832-1837). Cet ouvrage a paru aussi en allemand dans le *Journal de Poggenдорff*.

Renseignements sur l'Observation magnétique de Göttingue (Notices savantes de Göttingue, 1831).

Magnétisme terrestre et Magnéto-mètre (Annuaire de Schumacher, 1830).

Sur un nouvel instrument précis (magnéto-mètre) pour l'observation directe des variations dans l'intensité de la partie horizontale du magnétisme terrestre (Observations de la Société du Magnétisme, 1831).

Instruction pour la détermination des durées d'oscillation d'une aiguille magnétique (même recueil, 1837).

Théorie générale du Magnétisme terrestre (même recueil, 1838).

Théorèmes généraux relatifs aux forces d'attraction et de répulsion variant en raison inverse des carrés des distances (même recueil, 1839).

Sur un moyen de faciliter les observations d'écartement (même recueil, 1839).

Sur la détermination des constantes relatives à l'usage du magnéto-mètre (même recueil, 1840).

Instruction pour le calcul de l'action magnétique qu'un barreau aimanté exerce à distance (même recueil, 1840).

Sur l'emploi du Magnéto-mètre dans la détermination de la déviation absolue (même recueil, 1841).

Observations de l'inclinaison magnétique à Göttingue (même recueil, 1841).

Nous n'avons pas besoin de dire que Gauss était membre de toutes les grandes sociétés savantes de l'Europe. Avant de mourir, il avait fait graver, au bas de son portrait, comme résumé le mieux la philosophie de ses idées et de ses travaux, ces deux vers de Shakspeare :

Thou nature, art my goddess: to thy laws

My services are bound!

« Toi, Nature, es ma déesse ; à tes lois sont consacrés mes services ! »

Gay-Lussac (Joseph-Louis), illustre physicien et chimiste français, né à Saint-Léonard-le-Noblat, petite ville du Limousin, aujourd'hui département de la Haute-Vienne, le 6 décembre 1778, mort le 9 mai 1850. Le père de Gay-Lussac, Antoine GAY, était procureur du roi et juge au Pont-de-Noblat ; son grand-père avait exercé la médecine. Lussac était le nom d'une terre que possédait Antoine Gay, et qu'il joignait au sien pour se distinguer des autres membres de sa famille. Le premier maître de Joseph-Louis fut, avant la Révolution, l'abbé Bourdelot, qui, longtemps après, s'il parlait encore de la turbulence de son élève, signalait aussi l'ardeur au travail du futur académicien. La loi des suspects vint atteindre le magistrat, qui,

grâce aux actives démarches de son fils Joseph, demeura oublié dans la prison de Saint-Léonard, quoique l'ordre eût été donné de le transférer à Paris. Les événements du 9 thermidor vinrent mettre fin aux angoisses de la famille. La porte de sa place n'empêcha pas Gay-Lussac le père de pourvoir à l'instruction de ses enfants. Le plus jeune devait médecin et n'a pas cessé pendant cinquante ans de prodiguer ses soins aux habitants de Saint-Léonard. Il est mort, bûni de tous, le 28 juillet 1854, âgé de soixante-quinze ans. L'aîné, J.-L. Gay-Lussac, fut mis en pension à Paris, en 1795, chez M. Savouret, et, peu après à Nanterre, chez M. Sensier, qui, appréciant ses heureuses qualités, le garda près de lui, après avoir été obligé de fermer son établissement. A seize ans, Gay-Lussac n'avait pas encore été initié aux premiers éléments des sciences, et c'est au milieu des embarras journaliers de la famille dans laquelle il avait été admis qu'il parvint, sans maître, à apprendre les mathématiques. En 1797, il fut reçu à l'École polytechnique. Pour diminuer les sacrifices de sa famille, il donnait des leçons particulières pendant les quelques heures que lui laissaient les leçons et les exercices de l'École, et travaillait la nuit pour se maintenir au courant de ses études. En 1800, Gay-Lussac sortait de l'École polytechnique avec le titre d'élève-ingénieur des Ponts et Chaussées; mais il accepta de préférence la position que Berthollet lui offrit près de lui, certain de trouver, chez un tel protecteur, une intelligence d'élite pour le guider, et dans son laboratoire, la plus belle collection possible d'instruments de physique et de chimie. Il fut nommé, peu de temps après, répétiteur des cours que Fourcroy faisait alors à l'École polytechnique, et se fit bientôt connaître comme professeur dans les fréquentes occasions qu'il eut de le remplacer. Le premier travail de Gay-Lussac eut pour objet la loi de la dilatation des gaz. On sait qu'il trouva « que, toutes les fois qu'un gaz est entièrement privé d'eau, il se dilate de la 257^e partie de son volume à 0°, pour chaque degré centigrade d'augmentation dans la température. » Il n'a été trouvé depuis que d'insignifiantes exceptions à cette règle générale. Les expériences faites dans deux ascensions aérostatiques, à Hambourg et à Saint-Petersbourg, paraissent indiquer une diminution assez rapide de la force magnétique à de grandes hauteurs au-dessus du sol. Le fait s'accordait, d'ailleurs, avec des observations antérieures de Saussure. L'Institut jugea utile de provoquer une expérience décisive, et en chargea Biot et Gay-Lussac. Le 2 août, les deux jeunes voyageurs s'élevèrent de la cour du Conservatoire des Arts et Métiers, munis de tous les instruments nécessaires. Voici quelques mots sur ce voyage, empruntés à la relation de Biot : « Nous l'avouerons, le premier moment où nous nous élevâmes ne fut pas donné à nos expériences. Nous ne pûmes qu'admirer la beauté du spectacle qui nous environnait : notre ascension, lente et calculée, produisit sur nous cette impression de sérénité que l'on éprouve toujours quand on est abandonné à soi-même avec des moyens sûrs. Nous entendions encore les encouragements qu'on nous donnait, mais dont nous n'avions pas besoin. Nous étions calmes et sans la plus légère inquiétude. » Les deux jeunes savants s'élevèrent à la hauteur de 4.000 mètres, et eurent pouvoir affirmer que l'AGUILLE ALMANTEE se comportait à cette hauteur comme au niveau du sol.

Vingt-trois jours après, le 16 septembre 1804, Gay-Lussac entreprit seul un nouveau voyage. Il s'éleva cette fois à 7.016 mètres de hauteur, et la température, qui était à terre de 27°,75, descendit à - 9°,5. « Parvenu, dit-il, au point le plus haut de mon ascension,

à 7.016 mètres au-dessus du niveau moyen de la mer, ma respiration était sensiblement gênée; mais j'étais encore bien loin d'éprouver un malaise assez désagréable pour m'engager à descendre. Mon pouls et ma respiration étaient très accélérés : respirant très fréquemment dans un air d'une extrême sécheresse, je ne dois pas être surpris d'avoir eu le gosier tellement sec, qu'il m'était pénible d'avaler du pain. »

Nul, avant lui, n'avait atteint cette hauteur. A 3.012 mètres, il commença ses observations sur l'aiguille horizontale; à cette hauteur, la durée de dix oscillations fut de 41 secondes 1/2; à 6.977 mètres, elles durèrent 44 secondes 7/8; on trouvait à terre 42 secondes 2/19. A 6.107 mètres, une clef approchée de l'aiguille la déviait comme sur terre. L'hygromètre accusa une diminution rapide de la quantité de vapeur d'eau. L'air recueilli à 6.636 mètres et analysé ensuite fut trouvé composé comme celui qu'on recueillit à la surface de la terre. Après avoir terminé toutes ses expériences avec le plus grand sang-froid, Gay-Lussac prit terre entre Rouen et Dieppe.

De Humboldt venait de publier un travail sur les analyses audiométriques. Gay-Lussac y découvrit quelques erreurs et les releva avec une certaine vivacité. De Humboldt voulut voir son contradicteur, et ils se lièrent des lors d'une amitié qui dura jusqu'à la mort. Les deux amis lurent bientôt après à l'Académie (1^{er} pluviose an XIII) le célèbre mémoire où se trouve énoncé pour la première fois, mais par rapport à l'oxygène et à l'hydrogène seulement, la loi à laquelle obéissent les gaz dans leurs combinaisons. Cetteloi des volumes avait été aperçue par Gay-Lussac seul. « J'ai coopéré à cette partie des expériences, a écrit plus tard de Humboldt, mais Gay-Lussac seul a entrevu l'importance du résultat pour la théorie. »

Le 12 mars 1805, Gay-Lussac et de Humboldt partirent ensemble pour un voyage scientifique en Italie et en Allemagne; ils traversèrent les Alpes au mont Cenis, visitèrent Gènes et Rome, où Gay-Lussac reconnut la présence de l'acide fluorique dans les arêtes de poisson; Naples et le Vésuve, où les deux amis furent témoins de l'un des plus grands tremblements de terre qu'on y ait ressentis; Florence et Bologne; Milan, où ils rencontrèrent Volta; le Saint-Gothard, Goettingue et Berlin. Gay-Lussac revint en France en 1805 pour y soutenir sa candidature à l'Académie des Sciences en remplacement de Brisson. L'année suivante, il était choisi par Berthollet pour faire partie des fondateurs de la Société d'Arcueil. C'est dans le recueil de cette Société que de Humboldt et lui publièrent le résumé des observations sur le MAGNÉTISME, qui avait été le principal objet de leur voyage. Le même recueil contient aussi le *Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses entre elles*, ou Gay-Lussac se chargea, en 1807, de soumettre à des vérifications expérimentales les principaux résultats de la théorie analytique de la capillarité. Humphry Davy venait de décomposer la potasse et la soude à l'aide de la pile. Napoléon s'empressa de mettre à la disposition de l'École polytechnique les fonds nécessaires pour en construire une de dimensions colossales. Gay-Lussac et Thenard furent chargés de diriger le travail; mais, sans en attendre les résultats, ils cherchèrent à obtenir plus directement les deux nouveaux métaux, et parvinrent effectivement à en produire de grandes masses, tandis que les Anglais n'en avaient obtenu que des parcelles. Leur découverte fut publiée le 7 mars 1808. C'est dans le cours de ces recherches qu'une terrible explosion vint blesser Gay-Lussac assez grièvement pour que Dupuytren eût toutes les peines du monde à lui conserver la vue. Le 27 février 1809, les deux illustres associés, après avoir

tenté l'analyse du gaz qu'on appela alors *acide muriatique oxygéné*, terminant leur *Mémoire* par cette phrase : « D'après ces faits, on pourrait supposer que ce gaz est un corps simple. » C'est, en effet, le chlore. La même année 1809, Gay-Lussac fut nommé professeur de physique à la Faculté des Sciences et professeur de chimie à l'École polytechnique ; il vint d'épouser une jeune et intéressante personne, attachée à un magasin de lingerie, entre les mains de laquelle avait vu un ouvrage de chimie. Cette union a été exceptionnellement heureuse. Trois jours avant sa mort, Gay-Lussac disait à sa compagne : « Almonsons jusqu'au dernier moment, la sincérité des attachements est le seul bonheur. »

C'est encore en 1809 que Gay-Lussac et Thénard découvrirent le bore et l'acide fluoroborique.

La pile qui avait été construite pour l'École polytechnique était la plus volumineuse qu'on eût encore établie. Gay-Lussac et Thénard publièrent en 1811, sous le titre *Recherches physico-chimiques sur la pile, sur les acides, sur les acides, sur l'analyse végétale et animale, etc.*, les résultats des expériences auxquelles ils employèrent ce grand appareil.

M. Courtois, salpêtrier à Paris, venait de découvrir dans les centres des varechs un produit nouveau. Des échantillons en avaient été donnés à Humphry Davy ; Gay-Lussac l'apprend, et, pour ne pas laisser perdre à la France une priorité à laquelle elle avait des droits, il achève en quelques jours un travail complet sur l'iode, que Courtois avait rencontré par hasard. Ce travail a été lu le 1^{er} août 1814 à l'Académie des Sciences.

Le bleu de Prusse avait été déjà l'objet des recherches d'un grand nombre de savants. Gay-Lussac en reprit l'étude et découvrit bientôt (1815) le cyanogène et l'acide prussique. En 1816, il construisait son baromètre à siphon, dont la disposition est destinée à éviter les erreurs qui peuvent provenir des effets de capillarité. A partir de cette époque, il fut encore chargé d'un nouveau cours au Muséum du Jardin des plantes ; puis, bientôt après, nommé membre du Comité des arts et manufactures et essayeur à la Monnaie, il ne s'occupa plus guère que des travaux nombreux que lui confiait le gouvernement pour éclairer relativement à la fabrication des poudres, à l'affinage des métaux précieux, aux prescriptions à donner à l'administration des octrois, etc.

Gay-Lussac reçut de son département le mandat de député en 1831 et le conserva jusqu'en 1839. A cette époque, il échoua dans une nouvelle candidature, et Louis-Philippe l'appela à la pairie, pour laquelle Berthollet l'avait désigné en mourant, en lui léguant son épée de pair de France, en 1822. M. Regnault lui succéda alors à l'École polytechnique.

Parmi ceux de ses travaux dont nous n'avons pas encore eu l'occasion de parler, nous citerons : *Recherches et déterminations numériques relatives à l'hygromètre ; Observations sur la formation des vapeurs dans le vide et sur leur mélange avec les gaz ; Indications relatives à la construction et à la graduation des thermomètres ; Note sur la densité des vapeurs d'eau, d'alcool et d'éther.*

D'une simplicité remarquable dans ses goûts et d'un désintéressement absolu dans toutes les occasions où un autre eût trouvé du profit, Gay-Lussac ne brigua point les honneurs, et si quelques-uns vinrent à lui, il n'y eut de sa part aucune démarche, à plus forte raison aucune intrigue. Cette simplicité, qui n'était ni recherchée ni affectée, se remarqua dans toutes les circonstances de la glorieuse carrière poursuivie par l'illustre physicien. Dans ses cours, au Muséum, à la Faculté des sciences et à l'École polytechnique, c'était à une conversation naturelle et cordiale, avec ses

embarras et ses licences, mais aussi avec ses effusions et ses franchises, que les auditeurs assistaient. Nulle préparation, nulle éloquence d'apparat, nul artifice oratoire. Il était le même à son laboratoire, où il travaillait en sabbats, sans pompe ni mystère, dans la familiarité de ses préparateurs, leur communiquant ses impressions, leur faisant part de ses idées, et laissant voir toute la joie qu'il éprouvait du succès d'une expérience, de l'heureuse réalisation d'une prévision théorique. A la fin de sa vie, il était devenu une des lumières de l'Académie des Sciences, où sa parole avait acquis une autorité préminente et un crédit considérable. Il y passait pour l'homme clairvoyant et judicieux par excellence, du meilleur conseil et de la plus inflexible critique.

Esprit par-dessus tout philosophique, Gay-Lussac a scellé par des travaux mémorables l'union de la physique et de la chimie, en marquant nettement par où ces deux sciences se rejoignent et comment la plus simple, qui est la physique, éclaire la plus complexe, qui est la chimie. Ses lois sur la combinaison volumétrique des gaz, sur le mélange des gaz et des vapeurs, sur les valeurs spécifiques, comptent parmi les plus importantes qu'on ait établies. Ses travaux sur les composés de l'iode et sur ceux du cyanogène portent l'empreinte d'un esprit méthodique et élevé, qui surmonte les difficultés par la supériorité de la raison et la fécondité ingénieuse de ses ressources.

Gay-Lussac a peu écrit. Les *Annales de chimie et de physique* renferment ses *Mémoires*, et les *Comptes rendus*, ses rapports. On a publié ses leçons au Muséum en deux volumes, qui parurent en 1828. Son cours de physique de la Faculté des sciences fut imprimé en 1827 par les soins de M. Grosselin. Ce n'était pas seulement un théoricien profond ; ce fut aussi un praticien habile, et, sous ce rapport, il a rendu à la science les services les plus signalés. Comme vérificateur des monnaies, il a introduit dans l'essai des matières d'or et d'argent les améliorations les plus précieuses. Son alcomètre est l'instrument le plus sûr pour doser les quantités d'alcool contenues dans les liquides qui en renferment, surtout si l'on y joint l'emploi des tables qu'il a construites à cet effet. Celles qu'il a données pour corriger les indications de l'hygromètre de de Saussure ne sont pas d'un moindre intérêt. Gay-Lussac mourut en 1850, âgé de soixante-deux ans. Il a été remplacé à l'Académie des Sciences par le baron Cogniard de Lalour.

L'éloge qui lui fait le plus d'honneur est celui que fait de lui de Humboldt, dans une lettre adressée à M^{me} Gay-Lussac :

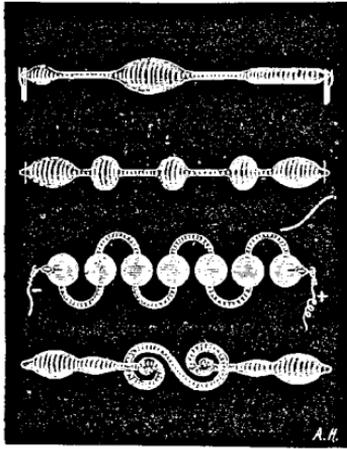
« L'amitié dont m'a honoré ce grand et beau caractère a rempli une belle portion de ma vie ; personne n'a régné plus fortement, je ne dis pas sur mes études, qui avaient besoin d'être fortifiées, mais sur l'amélioration de mon sentiment, de mon intérieur. Quel souvenir que la première rencontre chez M. Berthollet à Arcueil ! Mon travail journalier à l'ancienne École polytechnique ; mon admiration toujours croissante, nos prédilections sur sa future illustration dont mes ouvrages d'alors portent l'empreinte (1806), mon espoir que mon nom resterait attaché au sien, que de sa gloire quelque chose se réverbilait sur moi..., toutes ces phases de la vie se présentent à ma mémoire avec un charme indélébile ! Je n'ai besoin de raisonner ni mon admiration ni mon éternelle reconnaissance. Il n'y a pas un homme auquel je doive plus pour la rectitude de mes études, de mon intelligence, de mon caractère moral, qu'à celui dont vous avez fait le bonheur par vos nobles qualités du cœur et de l'esprit... »

• Berlin, 13 mai 1850. »

Geissler (Henri), mécanicien et physicien allemand, né à Igelsbich (Meiningen), le 26 mai 1814. Il apprit d'abord l'art du souffleur de verre et vint très jeune à Munich, poussé par un ardent désir de perfectionner son instruction. Après avoir acquis dans cette ville les connaissances générales qui lui manquaient et accru ses connaissances spéciales, il fréquenta successivement la plupart des universités allemandes et passa huit années en Hollande, où le gouvernement l'employa à des travaux de mécanique et de science. En 1854 il vint à Bonn pour se perfectionner dans les sciences mécaniques et physiques sous la direction de Plücker. Il fonda dans cette ville une fabrique d'appareils de physique et de chimie, qui eut bientôt acquis une renommée universelle. Geissler fut un inventeur d'une fertilité extraordinaire dans le domaine des sciences physiques et mécaniques et fournit aux savants les instruments les plus parfaits. On connaît l'exactitude des thermomètres et des autres instruments météorologiques, qu'il a fabriqués. Comme artiste verrier il n'a pas été égalé; son œuvre la plus remarquable est la découverte des tubes qui portent son nom. Il perfectionna aussi la pompe à mercure, qui avait été grossièrement ébauchée par les académiciens del Cemento; pour l'étude des liquides alcalins, il construisit un appareil très original : le vaporimètre. L'Université de Bonn lui donna en 1868 le titre de docteur « honoraire ».

GEISSLER (Tubes de). — Tubes à vides, à atmosphère raréfiée ou contenant différents gaz, terminés par deux électrodes entre lesquelles on fait jaillir une étincelle électrique.

MM. de La Rue et Müller avaient constaté en 1877



Tubes de Geissler.

qu'aux pressions atmosphériques ordinaires la longueur de l'étincelle donnée par une pile dans différents gaz décroît dans l'ordre où ces gaz sont énumérés : hydrogène, azote, air, oxygène, acide carbonique. Dans l'hydrogène la longueur de la décharge était à peu près double de celle obtenue dans l'air.

« L'influence de la nature du gaz sur la longueur

de l'étincelle, dit Gordon, est un phénomène spécial, qui ne paraît lié ni à la densité du gaz, ni à sa viscosité mécanique. On peut désigner cette propriété particulière sous le nom de *viscosité électrique*, le rapport des distances explosives obtenues pour deux gaz mesurant le rapport de leurs viscosités électriques. » Lorsque la pression de l'air est moindre que 0^m,38 de mercure, tout le gaz contenu dans le tube devient lumineux; quand la raréfaction est presque complète, le tube se remplit d'une lumière brillante dont la couleur varie avec la nature du gaz qui reste dans le tube. En introduisant dans le tube des substances fluorescentes, elles relient avec leurs couleurs caractéristiques quand elles sont éclairées par la décharge électrique.

GÉNÉRATEUR PYRO-MAGNÉTIQUE D'ÉLECTRICITÉ. — Appareil imaginé par M. Edouard pour transformer directement en énergie électrique l'énergie produite par la combustion du charbon. Il est basé sur ce fait que l'AIMANTATION des métaux magnétiques est modifiée par la température. Or, quand un CHAMP MAGNÉTIQUE quelconque varie d'intensité dans le voisinage d'un CONDUCTEUR, celui-ci devient par INDUCTION le siège d'un COURANT électrique. Si donc on met un noyau de fer dans un circuit magnétique et si l'on fait varier l'état magnétique à l'aide de la température, on obtiendra un courant électrique dans une bobine entourant le noyau de fer. (V. THERMO-ÉLECTRICITÉ.)

GÉNÉRATEUR SECONDAIRE. Nom donné par MM. Gaulard et Gibbs à un appareil de leur invention destiné à transformer l'énergie électrique. (V. TRANSFORMATEUR et DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ.)

Gilbert (Guillaume), médecin et physicien anglais, né à Colchester en 1540, mort en 1603. Il s'établit à Londres, fut admis, en 1573, dans le collège des médecins de cette ville, puis devint médecin de la reine Elisabeth et du roi Jacques I^{er}. Gilbert se livra à de laborieuses recherches sur les propriétés de l'AIMANT et fit faire de notables progrès à cette partie de la physique, encore dans l'enfance à cette époque. Le premier, il enseigna que la terre est un aimant, pour expliquer l'INCLINAISON et la DÉCLINAISON de la boussole. Gilbert jouit de son temps d'une grande réputation, et Bacon reproduit dans ses écrits les fines et délicates observations que ce physicien avait faites sur les phénomènes électriques. Les recherches de Gilbert ont été réunies et publiées sous le titre de *De magnetis magneticisque corporibus et de magno magnetis tellure*, etc. (Londres, 1600, in-4^o).

GLYPHOGRAPHIE. — Procédé électrotypique imaginé en 1816 par Palmer à Londres et Ahner de Leipzig pour obtenir des planches gravées en relief et propres pour l'impression. Il consiste à graver à la pointe la plaque de cuivre préalablement recouverte d'une couche de cire ou de vernis de graveur et à préparer avec cette gravure en creux une empreinte galvanoplastique qui donne en relief le dessin renversé. Cette plaque est ensuite recopiée et son empreinte fixée à une planchette de bois sert aux tirages ultérieurs.

GODILLE. — Organe du manipulateur du télégraphe à cadran (V. TÉLÉGRAPHIE).

GOUTTE DE SUIF. — Petit bouton de cuivre servant de point d'appui à la manette mobile du COMMUTATEUR à manette.

GOUVERNAIL ÉLECTRIQUE. — Gouvernail manœuvré électriquement. M. Acharad a imaginé en 1859 un appareil de ce genre fondé sur un principe analogue à celui de son **FREIN ÉLECTRIQUE** et permettant au capitaine de diriger le navire sans sortir de sa cabine. En Angleterre, M. King a fait construire un gouvernail mû par un servo-moteur hydraulique qui agit dans un sens ou dans l'autre suivant le sens du courant envoyé par le compas, de sorte que le navire recitille lui-même sa route.

GRADUATEUR ou DÉRIVATEUR. — Nom donné par M. Van Hysseberghe à des appareils employés par lui, dans son système de **TELEPHONIE** à grande distance, sur les lignes télégraphiques aériennes pour rendre les courants télégraphiques inaudibles au téléphone.

Méd. Appareil servant à diriger, régulariser et graduer les **ÉTINCELLES** dans le traitement par l'électricité statique ou **FRANKLINISME**.

GRAMME (Machine de). — Machine dynamo-électrique (V. **MACHINE ÉLECTRIQUE**).

Méd. Le type d'il de laboratoire a été employé pour la **GALVANOCAUSTIQUE**. On se sert d'une bobine à gros fil. Avec une bobine à fil fin, on obtient un courant utilisable pour la galvanisation ordinaire, mais dont les effets sur les nerfs moteurs et sensitifs se rapprochent beaucoup de ceux des courants induits.

GRAPHOPHONE. — Appareil qui n'est en réalité qu'un phonographe d'Edison perfectionné sous le double rapport de l'enregistrement, de la reproduction et même de l'amplification de la parole. Ces perfectionnements sont dus à MM. Bell, Cliechester et Simmer Tainler. Sans nous prononcer sur leur valeur pratique, nous en donnerons sommairement l'idée. Rappelons d'abord que le phonographe d'Edison n'est nullement électrique.

En principe, l'appareil enregistreur de la parole se compose d'un disque métallique tournant sur son axe et sur une face duquel est appliqué le papier phonographique; il reçoit son mouvement de rotation d'un galet à friction, qui presse sur l'autre face; en même temps, une vis de pas convenable entraîne l'axe parallèlement à lui-même. Il résulte de ce double mouvement que chacun des points du disque, décrivant une spirale, passe successivement et avec la même vitesse linéaire au droit du galet de friction et d'un style placé en face de ce galet du côté du papier phonographique.

Ce papier est recouvert d'une couche d'un mélange formé de 2 parties de paraffine et de 1 de cire blanche. Ce mélange est coulé sur le papier et égalisé au tour après refroidissement.

La pointe du marqueur ou plume enregistreuse est mise en vibration par une membrane emprisonnée dans un tambour de caoutchouc librement articulé au porte-voix, au moyen d'un contrepois réglable à volonté, elle appuie légèrement sur la cire, et sa forme est telle qu'elle y découpe un sillon très net.

Pour reproduire la parole, on plombe avec soin la plaque impressionnée, puis on la traite par un bain galvanoplastique du sulfate de cuivre (V. **GALVANOPLASTIE**).

La contre-partie en cuivre étant obtenue, on la colle au plâtre sur un disque spécial, un deuxième disque de même dimension, en fer, est calé parallèlement sur le même axe, et porte sur la face qui regarde le **GALVANO** une spirale de forme identique à celle dont nous avons parlé plus haut. Un burin, terminé par une pointe mousse du côté du galvano et une

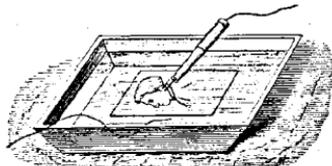
pointe aiguisée de l'autre, et ramené du reste en arrière par un ressort, grave dans la spirale du disque de fer le tracé phonographique du galvano sous l'action d'un mécanisme à vis et à glissière semblable à celui précédemment décrit.

Ce disque de fer étant *phonographe*, on remplace le burin par un aimant portant à l'un de ses pôles une bobine dont le noyau est constitué par une aiguille de fer doux qui affleure, sans la toucher, la face taillée du disque de fer. Quand on fait tourner celui-ci, les paroles enregistrées se reproduisent dans un **TÉLÉPHONE** quelconque mis en relation avec la bobine dont il vient d'être question.

Une autre manière de reproduire, et même d'amplifier dans une certaine mesure les paroles enregistrées, consiste à employer le phonographe à jet ou **MÉTÉOSON** imaginé par M. Bell.

Le tracé phonographique sur cire déroule sa spirale devant un jet d'air comprimé, et les ondulations du tracé déterminent, dans le tuyau d'amènée de l'air, des variations de pression qu'un tube branché sur celui du jet d'air transmet à une membrane de téléphone. Cette membrane recite alors les mots phonographiés avec une puissance proportionnelle, dans certaines limites, à la pression du jet.

GRAVURE SUR VERRE PAR L'ÉLECTRICITÉ. — Procédé imaginé par M. Planté et décrit par lui en ces termes : « On recouvre la surface d'une lame de verre ou d'une plaque de cristal avec une solution concentrée de nitrate de potasse, en versant simplement le liquide sur la plaque posée horizontalement dans une cuvette peu profonde. D'autre part, on fait plonger, dans la couche liquide qui recouvre le verre



Gravure sur verre par l'électricité.

et le long des bords de la lame, un fil de platine horizontal communiquant avec les pôles d'une batterie secondaire de cinquante à soixante éléments; puis, tenant à la main l'autre **ÉLECTRODE**, formée d'un fil de platine entouré, sauf sa son extrémité, d'un étui isolant, on touche le verre, recouvert de la couche mince de solution saline, aux points où l'on veut graver des caractères ou un dessin comme le montre la *fig.* ci-contre. Un sillon lumineux se produit partout où touche l'électricité, et quelle que soit la rapidité avec laquelle on écrit ou on dessine, les traits que l'on a faits se trouvent nettement gravés sur le verre. Si l'on écrit ou si l'on dessine lentement, les traits sont gravés profondément, leur largeur dépend du diamètre du fil de platine servant d'électrode; s'il est taillé en pointe, ces traits peuvent être extrêmement délicats. Le fil métallique conduisant le courant est donc transformé en un burin particulier pour le verre, et dont le maniement n'exige aucun effort de la part de l'opérateur malgré la dureté de la substance à entamer, car il suffit de promener légèrement le fil de platine à la surface du verre pour obtenir une gravure ineffaçable. La force corrodante 66

trouve fournie par l'action, à la fois calorifique et chimique, du courant électrique en présence de la dissolution saline; cette action est très puissante, et elle est même plus efficace pour les substances vitreuses que celle de l'acide fluorhydrique. On peut graver avec l'une ou l'autre électrode, mais il faut un courant moins fort pour graver avec l'électrode négative. Au lieu d'éléments secondaires on peut employer toute autre source d'électricité de quantité et de tension suffisantes : piles de Bunsen, machine dynamo-électrique de Gramme, machine magnéto-électrique à courants alternatifs, etc. » (*Lum. électrique*, année 1881, t. IV.)

GRÈLE. — Glaçons plus ou moins gros, d'une forme le plus souvent arrondie, qui tombent de l'atmosphère, et qu'on croit n'être autre chose que de l'eau congelée. La grêle précède ordinairement les pluies d'orage; le tonnerre et d'autres phénomènes électriques l'accompagnent presque toujours.

Volta admettait pour expliquer la formation de la grêle, que les rayons solaires en frappant la surface supérieure d'un nuage très dense sont absorbés presque en totalité; qu'il en résulte une très rapide évaporation et que c'est cette évaporation qui produit assez de froid pour congeler l'eau. Le même physicien supposait pour se rendre compte de ce que les grêlons restent suspendus dans l'air, bien qu'ayant acquis assez de volume pour tomber par leur poids, que deux nuages chargés d'électricités contraires sont disposés l'un au-dessous de l'autre; que les grêlons, encore très petits, tombent sur le nuage inférieur, s'y trouvent d'une nouvelle couche de glace, sont repoussés par ce nuage et attirés par le nuage supérieur, s'y couvrent d'une nouvelle couche de glace, sont repoussés par ce nuage et attirés par le nuage inférieur, et font ainsi la navette, jusqu'à ce qu'ils tombent enfin en masse sur la terre, soit que les grêlons deviennent trop lourds, soit que les nuages perdent leur électricité ou se trouvent emportés par les vents à des distances trop grandes.

La théorie de Volta n'est pas à l'abri des critiques. D'autres théories modernes ont été proposées, notamment par M. Faye et par M. Planté. M. Faye suppose que les couches congelées existant dans les hautes régions sont transportées mécaniquement et que l'augmentation des grêlons résulte des oscillations qu'ils subissent au sein de tourbillons. M. Planté admet que l'eau contenue dans les nuages entraînés dans les hautes régions de l'atmosphère se trouve pulvérisée et vaporisée par des décharges électriques. Il explique la formation du grêlon par plusieurs vaporisations et congélations successives et par le mouvement giratoire que prend le noyau du grêlon. Enfin M. Luvini a publié dans plusieurs revues scientifiques une théorie dont voici le principe : Lorsqu'une goutte d'eau est suspendue dans l'air ou dans un nuage frappé par la foudre, elle peut passer à l'état sphéroïdal; et si pendant qu'elle se trouve dans cet état il se fait le vide dans l'espace environnant, sa température descendra assez bas pour que l'eau se congèle presque instantanément. D'après M. Luvini, si la foudre vient à frapper une petite goutte d'eau, sa chaleur se consume presque entièrement dans la vaporisation superficielle de l'eau, et la température dans l'intérieur de la masse liquide ne changeant pas sensiblement cause de la très courte durée du phénomène, la masse liquide se trouvera momentanément dans la condition où se trouvent les liquides aux premiers instants où on les met dans un vase métallique incandescent; elle se réduit comme ces derniers à l'état sphéroïdal. Quant à la production

du vide qui s'opérerait autour de la goutte d'eau, elle résulterait de la transformation en vapeur à haute tension de la couche d'eau superficielle de la goutte frappée par la foudre, cette vapeur lancée avec violence tout autour agirait comme un ressort qui d'un côté comprime la goutte, de l'autre pousse l'air. Ce coussin de vapeur perd rapidement sa force élastique, mais pendant un très court instant la goutte isolée par lui de l'air atmosphérique se trouve dans un espace vide; une partie de l'eau qui forme cette goutte se vaporise instantanément aux dépens de la chaleur empruntée au reste de la masse d'eau, laquelle se congèle immédiatement. Les premiers morceaux de glace ainsi formés s'unissent entre eux pour engendrer les grêlons.

Cette théorie est, comme la précédente, sujette à discussion.

Grey (Étienne), physicien anglais qui vivait dans la première moitié du XVIII^e siècle. Il fit de nombreuses expériences sur l'électricité statique, la seule connue de son temps. Ces expériences sont devenues banales; mais elles avaient alors une réelle importance. C'est à Grey, qui s'adjoignit Wehler, son compatriote, que l'on doit la découverte de la propagation de l'électricité; au cours des essais de ces deux physiciens, en juillet 1729, une circonstance fortuite amena la distinction des corps en *conducteurs* et non *conducteurs* de l'électricité.

GRISOU (Indicateur de) — (V. INDICATEUR.)

Grothus (Christian-Jean-Didier, connu sous le nom de Théodore de), physicien allemand, né à Leipzig le 20 janvier 1785. Il vécut jusqu'à dix-sept ans sur le bien patrimonial de Gross-Berken, en Courlande, puis fréquenta successivement les cours des Universités de Leipzig (1803) et de Paris (1804), et alla passer quelque temps à Naples où il entreprit des recherches dont il publia les résultats dans un *Mémoire sur la décomposition de l'eau et des corps qu'elle tient en dissolution à l'aide de l'électricité galvanique* (Rome, 1805) rédigé en français, traduit aussitôt dans la plupart des langues de l'Europe, et qui eut un grand retentissement. A la fin de 1806, pendant un voyage à Paris, il fut attaché par une bande de malfaiteurs qui lui dérochèrent toutes ses collections scientifiques. Il retourna en Courlande (1807) et se fixa dans sa propriété de Geddutz, où il s'occupa de nouvelles recherches et de mettre en ordre ses nombreuses notes. Atteint d'une maladie incurable, il se suicida le 14 mars 1822.

Grove (William-Robert), juriste et physicien anglais, né à Swansea le 14 juillet 1811. Il étudia le droit à l'Université d'Oxford, d'où il sortit en 1835 pourvu de tous ses grades. Il occupa pendant cinq ans une chaire de droit à l'Institut de Londres et se fixa dans cette ville pour y exercer la profession d'avocat. Pendant ses loisirs, il s'occupait d'électricité et de magnétisme, et fut bientôt plus connu comme physicien que comme homme de loi. Il obtint en 1817 la médaille de la Société royale de Londres, fut admis peu après dans cette Société et en devint le vice-président. En 1866, il présida l'Association britannique réunie à Nottingham, et l'occasionna un très remarquable discours sur la continuité des phénomènes naturels démontrés par les progrès récents de la science. Il fut juge dans la Galles du Sud, à Chester, et fut nommé, en 1871, juge de la cour des plaids communs. La reine lui conféra, en 1872, le titre de chevalier. D'après Cazin (*Traité*

théorique et pratique des piles électriques). la première idée d'employer le charbon comme rôle dans les piles paraît due à Chevreuse, professeur de chimie à l'École d'artillerie et de génie de Metz (1823). D'après Du Moncel, la même idée est venue à Grove (1839) qui ignorait évidemment l'existence des travaux de Chevreuse; mais Grove ne parla jamais des électrodes de charbon dans ses mémoires, persuadé que dans le monde scientifique on n'apprécierait, comme étant en harmonie avec la science, que les électrodes de platine. Ce n'est qu'en 1843 que M. Bunsen, de Heidelberg, ne connaissait probablement pas les travaux de Grove, proposa, comme *amélioration économique* des piles à acides, le charbon en guise d'électrode positive. Le couple aujourd'hui connu sous le nom de *couple de Bunsen* ou *couple à charbon* n'est autre chose que celui de Grove, c'est-à-dire un couple à deux liquides où le dépolarisant est de l'acide azotique : la seule différence consiste en ce que l'électrode positive est formée de charbon au lieu de platine.

On a attribué à Grove l'idée d'avoir, dans les piles cloisonnées, séparé les deux liquides par des diaphragmes inorganiques. Mais il est certain que cette idée appartient à Becquerel père qui l'appliqua dès 1829.

Grove a eu l'idée de former des couples constitués par deux lames de platine plongeant toutes deux en partie dans un vase contenant de l'eau acidulée, et recouvertes chacune par une éprouvette renfermant l'une de l'oxygène, l'autre de l'hydrogène. Il appela la pile ainsi composée *Batterie voltaïque à gaz* et s'en servit pour une série d'expériences propres selon lui à éclairer la délicate théorie des causes de l'électricité; mais elle ne présente qu'un intérêt scientifique.

Mentionnons encore des expériences pour établir l'influence que les différents gaz exercent sur les courants électriques qui les traversent, d'autres sur le transport des particules dans l'arc voltaïque. Grove a, le premier, réussi à graver les plaques daguerriennes, en les faisant servir d'électrode positive dans la pile. Il démontra que les particules de fer prennent un arrangement régulier sous l'influence de l'hélice magnétisante, et en déduisit une théorie de l'état moléculaire induit par le magnétisme, etc.

Ces travaux ont été l'objet de divers mémoires publiés dans le *Philosophical Magazine*, l'*Electrical Magazine*, les *Philosophical Transactions*, etc. Le principal ouvrage de Grove est un livre sur la corrélation des forces physiques.

GRUE ÉLECTRIQUE. — Grue manœuvrée par une machine dynamo-électrique qui tourne sous l'action d'un courant électrique produit par une autre machine dynamo-électrique placée à une certaine distance de l'appareil de levage. C'est un cas particulier de la transmission de la force par l'électricité. Ainsi la fonderie de canons de Bourges possède une grue roulante destinée à soulever et transporter des matériaux dont le poids peut atteindre 40 tonnes. Les organes mécaniques de translation et de soulèvement qui composent cette grue sont actionnés par un moteur électrique d'une puissance d'environ 12 chevaux-vapeur installé sur le bâti et recevant un courant de 400 volts et 30 ampères, fourni par un générateur dynamo-électrique établi à une centaine de mètres de distance. On pourrait citer encore beaucoup d'autres exemples.

GUIDON ÉLECTRIQUE LUMINEUX. — M. Trouvé a imaginé de rendre lumineux le guidon des armes de chasse au moyen d'une lampe à incandescence

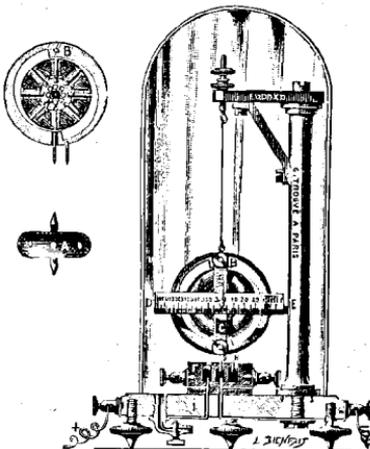
minuscule munie d'un petit réflecteur qui projette ses rayons sur le guidon. Cette lampe est actionnée par une pile à renversement au bisulfate de mercure qui n'entre en action qu'au moment où l'on met en joue.

GUIPAGE. — Chanvre ou rubans goudronnés qui séparent les fils recouverts de gutta-percha qui constituent un câble.

GYMNOTE. — Poisson pourvu derrière les branchies d'un organe donnant par le contact des secousses électriques analogues à celles produites par une bouteille de Leyde. (V. ÉLECTROGÈNE.)

GYROSCOPE. — Instrument construit par Foucault pour mettre en évidence d'une façon certaine la rotation de la terre.

M. Trouvé a imaginé, en 1863, une disposition au



Gyroscope Trouvé.

moyen de laquelle l'électricité actionne le gyroscope de Foucault pendant un temps assez considérable pour permettre de faire une série prolongée d'observations, et à laquelle il a donné le nom de *gyroscope électrique*.

Cet instrument, représenté ci-dessus, se compose d'un tore électromoteur A, mobile autour d'un axe d'acier à pointes de rubis perpendiculaire à son plan. Ce tore, mis en rotation rapide par l'électricité, occupe le milieu d'une cage formée par l'armature en fer B et l'anneau en cuivre C sur lequel il pivote. La cage et le tore sont suspendus à une potence par un fil inextensible au centre d'un anneau portant les degrés du cercle. Une aiguille indicatrice faisant partie du système suspendu et immobile dans l'espace par suite de la rotation rapide du tore permet d'apprécier chaque degré de déplacement du cercle B qui participe au mouvement de la terre. On peut également

apprécier la rotation de la terre en braquant une lunette sur un micromètre fixé à l'axe; on voit les divisions de ce micromètre passer successivement devant le réticule de la lunette. Le courant électrique est amené au tore électromoteur par deux petites pointes en platine isolées entre elles et plongeant dans du mercure contenu dans deux petites cuves indépendantes représentant les deux pôles de la pile employée. Tout l'ensemble du gyroscope de M. Trouvé repose sur un socle à vis calantes surmonté d'un globe en verre sous lequel on peut faire le vide au moyen d'un robinet afin de soustraire l'instrument aux perturbations extérieures. Dans ces conditions, le gyroscope peut être mis en expérience pendant un temps suffisant pour qu'un observateur s'aperçoive d'une révolution entière autour de l'instrument. Cette révolution d'un tour entier s'accomplirait en 24 heures si l'on se trouvait aux pôles de la terre. Avec les gyroscopes dont le tore reçoit le mouvement d'une puissance extérieure, l'observation ne peut guère dépasser 4 minutes, temps nécessaire au déplacement d'un degré; déplacement bien minime pour donner une certitude de la rotation de la terre. La réalisation du gyroscope de M. Trouvé a demandé une étude sérieuse et approfondie de construction. Le tore principalement mérite qu'on en dise quelques mots: il est composé intérieurement par l'électromoteur de M. Trouvé; cet électromoteur est formé d'un pignon électro-magnétique à 8 branches agissant sur une armature de fer en forme de limaçon (voir la *fig.*). Voici comment M. Trouvé

a opéré pour obtenir un tore d'apparence lisse et formé d'un métal compact. Après avoir construit et achevé le pignon électro-magnétique muni de son axe et du commutateur, il l'a noyé au milieu d'une masse d'un ciment spécial, puis il l'a porté sur le tour pour lui donner la forme d'un tore évidé au centre. Ce tore composite bien tourné et bien équilibré fut ensuite mis dans un bain de cuivre pendant plusieurs jours; il en fut retiré lorsque le dépôt eut atteint une épaisseur de 0^m,003 environ; il fut tourné de nouveau et bien équilibré, et prit ainsi l'apparence d'un tore ordinaire en cuivre. On est donc surpris de le voir tourner sans cause apparente à une vitesse de 300 à 400 tours par seconde. L'instrument a été présenté à l'Académie de Saint-Petersbourg par le célèbre Jacobi.

M. de Fonvielle a construit aussi un gyroscope électrique composé d'une aiguille de ren doux ou d'un disque de même métal en équilibre sur un pivot et placé à l'intérieur d'un cadre galvanométrique à travers lequel on fait passer un courant d'induction fourni par une bobine dont l'induit et l'inducteur ont la même résistance. Lorsqu'on approche le pôle d'un aimant de l'aiguille ou du disque, cette partie mobile se met à tourner.

GYROTROPE. — Nom donné par Ampère à une sorte de COMMUTATEUR INVERSEUR formé d'une boussole plongeant alternativement dans quatre godets reliés entre eux et aux deux pôles d'une pile.

HALL (Phénomène de). — On désigne sous cette appellation un phénomène découvert par Hall et qui consiste dans une rotation des LIGNES ÉQUIPOTENTIELLES d'une plaque métallique, parcourue par un COURANT et placée dans un CHAMP MAGNÉTIQUE de manière que son plan soit perpendiculaire aux LIGNES DE FORCE. La valeur de ce déplacement des lignes équipotentielles a été nommé *puissance rotatoire* (*rotatory power*) de la substance placée dans le champ magnétique.

M. Hall a publié une description détaillée de sa découverte dans les numéros du *Philosophical Magazine* des mois de mars et novembre 1880, septembre 1881 et mai 1883.

Voici comment il fit sa première expérience :

Un morceau de feuille d'or était collé sur une plaque de verre placée entre les pôles d'un ÉLECTRO-AIMANT de telle sorte que cette plaque fût perpendiculaire aux lignes de force magnétique; le courant d'un COILIE D'UNSEN traversait la feuille d'or dans toute sa longueur. Avant d'exciter l'électro-aimant, on trouvait par une série d'essais deux points équipotentielles placés près de deux bords opposés de la feuille d'or et presque à égale distance de l'entrée et de la sortie du courant; l'aiguille d'un GALVANOMÈTRE très sensible, relié à ces deux points, n'était par conséquent pas déviée de sa position normale. Lorsqu'un courant puissant actionnait l'électro, une déviation indiquait une différence de potentiel entre les deux points, et la déviation du courant à travers la feuille était opposée à celle dans laquelle la feuille d'or se serait déplacée, à travers les lignes de force, si elle avait été mobile. En changeant la polarité de l'électro, la direction de la force ÉLECTROMOTRICE transversale fut renversée et quand l'électro était devenu neutre, les deux points revenaient à leur condition équipotentielle primitive. A la suite d'essais sur divers métaux, M. Hall constata les résultats suivants : l'argent, l'étain, le cuivre, le laiton, le platine, le nickel, l'aluminium et le magnésium donnaient la même direction à la force électromotrice transversale; le fer, le cobalt et le zinc donnaient une direction inverse, et le plomb ne produisait aucun effet sensible.

M. Hall a résumé ces diverses expériences en disant que la rotation des lignes équipotentielles à travers la feuille se fait dans une direction déterminée par rapport aux lignes de force, et il a attribué cet effet à l'action directe de l'aimant sur le courant; on avait donné une très grande importance au phénomène de Hall, à cause de l'opinion, du professeur Rowland et de certaines autres personnes, qu'il y aurait une relation entre le phénomène de Hall et la ROTATION MAGNÉTIQUE du plan de polarisation de la lumière, ce qui donnerait une nouvelle preuve de connexions intimes entre la lumière et l'électricité.

M. Shelford Bidwell a contesté cette assertion et a fini par trouver que le phénomène de Hall peut

s'expliquer par l'action combinée de certains effets THERMO-ÉLECTRIQUES et d'un effort mécanique. Cet effort est produit par une action électro-magnétique dont l'AMBIÈREMIÈRE à mercure de Lippmann nous offre un exemple.

Nous supposons, pour faciliter les explications, que la feuille métallique est rectangulaire et nous donnerons les noms *ouest* et *est* aux deux côtés les plus courts, et *nord* et *sud* aux deux autres. Admettons que le pôle sud d'un électro-aimant soit placé en dessous de la feuille, et que celle-ci soit parcourue par un courant dirigé de l'ouest à l'est. La feuille aura alors une tendance à se déplacer dans la direction du sud au nord, normalement aux lignes de force.

Comme la feuille ne peut se mouvoir, elle subira un effort dont la nature est analogue à celui que subirait une barre rigide horizontale fermement maintenue à ses deux extrémités et au milieu de laquelle serait suspendu un poids. Considérons la feuille divisée en deux parties égales par une ligne réunissant les points médians des côtés est et ouest. Le milieu de la partie inférieure côté sud sera comprimé, et les deux parties latérales voisines décomprimées, de même le milieu de la partie supérieure côté nord sera décomprimé et les deux parties latérales comprimées. Il en résulte que la partie du courant qui traverse la moitié de la feuille côté nord passera d'abord d'une zone comprimée à une autre décomprimée, puis de celle-ci dans une zone comprimée; le contraire se produira dans la partie sud de la feuille.

Voici maintenant comment M. Shelford Bidwell explique les effets thermo-électriques cités plus haut. En 1835, sir W. Thomson annonça qu'un fil de cuivre tendu est thermo-électriquement positif par rapport à un fil de même métal non tendu, tandis qu'un fil de fer tendu est négatif par rapport à un fil non tendu. Sir W. Thomson concluait de là qu'un fil de cuivre libre était positif par rapport à un fil de cuivre comprimé dans le sens longitudinal, et qu'un fil de fer libre était négatif comparé à un fil de fer comprimé dans le même sens. Une série d'expériences vint confirmer cette supposition. Un fil de cuivre tendu est donc, à plus forte raison, thermo-électriquement positif par rapport à un fil de cuivre comprimé, et un fil de fer tendu, négatif vis-à-vis d'un fil de même métal comprimé.

Si donc un courant passe d'une portion de fil décomprimé à une portion comprimée, par suite de l'EFFET PELTSER, la chaleur sera absorbée à la jonction si le métal est du cuivre, ou développée au même endroit si c'est du fer.

En passant de parties comprimées à d'autres tendues, le courant produira l'inverse. La feuille métallique étant soumise à une traction du sud au nord et traversée par un courant dirigé de l'ouest à l'est, il résulte des considérations précédentes que, si

cette feuille est en cuivre, la chaleur sera développée dans la moitié ouest de la division nord de la feuille et absorbée dans la moitié est, tandis qu'elle sera absorbée dans la moitié ouest de la division sud et développée dans la moitié est. On sait d'autre part que la résistance électrique d'un métal augmente avec sa température; il s'ensuivra que les zones nord-ouest et sud-est seront plus résistantes, et les zones nord-est et sud-ouest moins résistantes qu'avant d'être soumises à la traction électro-magnétique, et qu'une ligne équipotentielle passant par le centre de la feuille, et qui aurait été d'abord parallèle aux côtés ouest et est, sera alors inclinée vers ces côtés avec l'apparence d'une rotation en sens inverse de celle des aiguilles d'une montre. Si la feuille est en fer au lieu de cuivre, les effets Peltier seront renversés et la ligne équipotentielle sera tournée en sens contraire.

La découverte de sir W. Thomson sur les effets thermo-électriques du fer et du cuivre suffit donc pour expliquer le phénomène de Hall dans le cas de ces métaux.

Il fallait s'assurer si l'explication était d'une application générale et M. Sheldford Bidwell a répété les expériences de Thomson sur tous les métaux essayés par Hall. A l'exception de l'aluminium et d'un échantillon d'or, sur cinq il y eut conformité parfaite entre la direction du courant thermo-électrique et l'effet de Hall.

En ce qui concerne l'aluminium, qui était en feuille, il fut collé sur verre et soumis à l'expérience de Hall. Comme on s'y attendait, le signe du coefficient de rotation était positif comme celui du fer, du cobalt et du zinc. Or M. Hall s'était trompé, ou l'aluminium qu'il avait employé contenait quelque impureté.

Quant au spécimen d'or, il est probable qu'il n'était pas pur non plus. D'autres savants se sont occupés du phénomène de Hall et des actions thermo-électriques et électro-magnétiques qui se produisent dans les lames de différents corps parcourues par un courant et placées dans un champ magnétique; ce sont MM. Right, Leduc, Bollzmann, Ettingshausen, Nernst, etc. (Voir, pour plus amples détails, le journal *la Lumière électrique*, tomes XI, XXIV et XXV.)

HAMEÇON ÉLECTRIQUE. — Appareil qui a figuré à Berlin, en 1880, à l'Exposition de pêcheerie. Il consiste en une sorte de petit bateau pouvant être dirigé sans bruit, en un point quelconque, à l'aide d'un rouage qui actionne une vis à ailettes. Arrivé à destination, le bateau s'ancre automatiquement, et la corde et l'hameçon glissent dans l'eau. Le bateau contient une batterie électrique et un système électro-magnétique disposés de telle sorte que le poisson, en mordant l'appât, ferme le circuit; la machine électro-magnétique entre alors en action, la ligne est tirée hors de l'eau et une sonnerie avertit le pêcheur qu'il peut ramener à lui le petit bateau à l'aide de la corde qu'il a eu soin d'y attacher avant de le lancer.

Hauksbee ou **Hawksbee** (Francis), physicien anglais, né en 1650, mort en 1709. On a peu de détails biographiques sur ce savant; on sait seulement qu'il était membre de la Société royale de Londres depuis 1705 et qu'il fut chargé par ses collègues de présider aux expériences entreprises aux frais de la Société. Presque toutes les études et les recherches d'Hauksbee furent consacrées à l'électricité. Il a consigné lui-même les résultats de ses expériences dans ses rapports insérés dans le recueil *Philosophical Transactions*, de l'année 1705 à l'année 1711. On y lit qu'il reconnut la faculté qu'a le

verre de s'électriser par le frottement et d'attirer ensuite les corps légers, découverte qui lui permit de construire une machine électrique très simple, en substituant au globe de soufre d'Otto de Guericke un cylindre de verre. Hauksbee s'occupa aussi de chimie pneumatique; il étudia les fluides élastiques provenant de la combustion de la poudre à canon et de la réduction des oxydes métalliques. Il a laissé plusieurs ouvrages: *Physico-mechanical Experiments on various subjects touching light and electricity producible on the attrition of bodies* (Londres, 1709); à peine livré à la publicité, cet ouvrage fut traduit en italien par Thomas Derelham, en français par Brémoud et Desmarest; *Proposals for a course of chemical Experiments* (Londres, 1731); *An essay for introducing a portable laboratory.*

HauÏ (René-Just), célèbre minéralogiste français, né à Saint-Just (Oise) le 28 février 1743, mort à Paris le 3 juin 1822. Il était fils d'un pauvre tisserand. Le plaisir particulier qu'il prenait aux cérémonies religieuses et aux chants de l'église le fit remarquer du prieur de l'abbaye établie dans son village natal, qui, lui trouvant une vive intelligence, chargea l'un de ses moines de lui enseigner les premiers éléments. Ses rapides progrès, sa douceur, son caractère aimant, lui gagnèrent l'affection des Pères, qui songèrent à l'envoyer à Paris pour qu'il y achevât ses études. On ne lui trouva d'abord qu'une place d'enfant de chœur dans une église du quartier Saint-Antoine. « Ce poste, disait-il dans la suite, ont du moins cela d'agréable que je n'y laissai pas enfoncer mon talent pour la musique. » Enfin, ses protecteurs de Saint-Just parvinrent à obtenir pour lui une bourse au collège de Navarre. Là il se fit bientôt assez estimer pour que les supérieurs le retinissent près d'eux lorsqu'il eut pris ses grades, en lui confiant la régence de quatrième. Il passa, quelques années après, comme régent de seconde, au collège Cardinal-Lemoine, où il rencontra Lhomond, dont les excellentes qualités, si semblables aux siennes propres, établirent entre eux une affection solide, malgré la différence d'âge.

C'est à cette liaison que HauÏ a dû sa carrière brillante, et que la science doit des découvertes de premier ordre.

Lhomond aimait la botanique sans l'avoir apprise; HauÏ, qui n'avait jamais songé qu'à faire plaisir, apprit la botanique pour être agréable à son vieil ami dans ses herborisations, et le goût des sciences naturelles s'éveilla en lui avec une force dont il se trouva tout surpris.

Le Jardin des plantes étant tout proche du collège, les deux amis y faisaient de fréquentes visites. Un jour, voyant la foule se presser à une séance de Daubenton sur la minéralogie, HauÏ entra avec elle, et, charmé de trouver un sujet d'études mieux circonscrit et moins exploré que la botanique, il s'y attacha par l'attrait des difficultés à vaincre. La chose qui l'avait frappé tout d'abord était la diversité des formes affectées par les cristaux formés d'une même substance. L'esprit plein de doute à cet égard, il lui arriva de laisser tomber un groupe de spath calcaire, cristallisé en prismes, qu'il examinait chez un de ses amis. L'un des prismes s'étant brisé, HauÏ remarqua avec surprise que le système de cristallisation apparente n'était plus le même dans les fragments que dans le bloc primitif: les angles plans et dièdres étaient devenus les mêmes que ceux qu'on observe dans le spath d'Islande. Rentré chez lui, il prend successivement un spath cristallisé en pyramide hexaèdre, un autre appartenant au système qu'on appelle alors lenti-

culaire, il les casse et retrouve encore dans les fragments les traits caractéristiques du cristal d'Islande. *Tout est trouvé! s'écrie-t-il* : la forme cristalline élémentaire d'un corps dépend de la composition chimique de ce corps, et les formes, si différentes en apparence, des cristaux qu'il peut fournir résultent simplement du mode d'implémentation des cristaux primitifs.

De nouvelles expériences sur d'autres corps le convainquirent davantage dans l'hypothèse qui s'était présentée à son esprit. Mais, craignant de s'être laissé tromper par des apparences, il remarqua que cette hypothèse comporterait une vérification presque décisive. En effet, si la diversité des formes pouvait tenir à une superposition des couches en retrait les unes par rapport aux autres, les angles des faces du cristal dérivé devraient pouvoir se déduire de ceux du cristal primitif et du rapport du retrait à la dimension fictive d'une molécule dans le sens de ce retrait. D'un autre côté, le nombre des formes dérivées étant toujours assez petit, le retrait devait être en rapport assez simple avec la dimension correspondante de la molécule; or, il devait être facile de voir si les angles des faces secondaires s'accordaient avec une hypothèse simple sur la valeur du retrait. Le pauvre régime de seconde avait oublié depuis longtemps le peu de géométrie qu'il eût jamais appris; mais il avait intelligence et courage, il se mit bravement à étudier les éléments de géométrie et de trigonométrie qui devaient lui être nécessaires, pour vérifier ses conjectures. Le résultat ayant été entièrement favorable, Haüy communiqua sa découverte à Daubenton, qui en parla à Laplace, et tous deux s'empressèrent de l'engager à en faire part à l'Académie.

« Ce n'est pas, dit Cuvier, ce à quoi il fut le plus aisé de le déterminer. L'Académie, le Louvre, étaient pour le bon Haüy une sorte de pays étranger qui effrayait sa timidité. Les usages lui étaient si peu connus, qu'à ses premières lectures il y venait en habit long, que les anciens canons de l'Église prescrivaient, dit-on, mais que les ecclésiastiques ne portaient plus depuis longtemps dans la société. » Ses amis, craignant pour lui le ridicule, cherchèrent à lui faire quitter cet habit; mais il fallut qu'ils appuyassent leurs conseils de l'avis d'un docteur en Sorbonne. « Les anciens canons sont très respectables, lui répondit-on; mais, en ce moment, ce qui importe, c'est que vous soyez de l'Académie. » L'Académie n'attendit même pas qu'une place de physique ou de minéralogie devint vacante, elle le nomma (1783) dans la section de botanique presque à l'unanimité. Il avait tellement le don d'attirer à lui, que Lagrange, Lavoisier, Laplace, Fouquier, Berthollet et Gayton de Morveau voulurent qu'il leur expliquât sa théorie, et ils allaient l'écouter au collège Cardinal-Lemoine.

Le mérite trouve toujours des destructeurs; celui de Haüy avait jeté trop d'éclat pour qu'il éclatât au sort commun; Romé-DeHilite se chargea du triste soin de troubler le bonheur du nouvel académicien. Haüy se borna pour toute réponse à entrer dans la voie de nouvelles découvertes encore plus importantes. Il avait jusque-là ramené à un même type les cristaux, divers en apparence, que pouvait fournir un même corps bien connu, dans des circonstances différentes; il en vint bientôt à concevoir une liaison intime entre la composition chimique de chaque corps et la forme des cristaux élémentaires auxquels il donnait naissance. La plupart des cristaux classés par ses devanciers n'avaient pas été soumis à des analyses chimiques exactes. Aussi la classification adoptée rapprochait-elle, jusqu'à la confusion, des minéraux à bases totalement différentes, dont les cristaux présentaient quelques vagues analogies, tandis qu'elle épar-

pillait souvent dans des groupes distincts les diverses variétés d'un même corps. Haüy crut pouvoir affirmer, suivant les cas, soit l'identité de la composition entre les pierres distinguées jusque-là les unes des autres par un caractère au fond indifférent, tel que la couleur, soit la diversité radicale entre d'autres minéraux regardés avant lui comme identiques, et toujours l'analyse directe vérifia les assertions qu'il avait émises. Non seulement, dit Cuvier, il annonça aux chimistes qu'en recommandant leurs analyses ils trouveraient des différences qu'ils avaient méconnues, il leur a encore souvent prouvé que des différences qu'ils croyaient voir ne devaient pas exister. C'est ainsi que, d'après ses indications, Vauquelin a fini par trouver la glucine dans l'émeraude, comme il l'avait auparavant découverte dans le béril. Lorsque Klaproth et Vauquelin découvrirent que l'apatite et la chlorite des joailliers n'étaient que du phosphate de chaux, Haüy avait déjà remarqué l'identité de leur structure cristalline.

Dès qu'il eut dans l'Université les vingt ans de services qui lui donnaient droit à une petite pension de retraite, Haüy se hâta de la demander, pour se vouer entièrement à la science qu'il venait de créer. Pourvu d'ailleurs d'un petit bénéfice qui lui donnait au moins le nécessaire, il vivait simplement, suivant ses goûts, en travaillant sans cesse. La Révolution vint jeter le trouble dans cette existence si calme: privé de ses pensions et de ses places, Haüy, qui n'avait pas prêté serment, fut emprisonné après le 10 août; heureusement, un de ses élèves, Geoffroy Saint-Hilaire, réussit à obtenir l'ordre de son élargissement, et on ne l'inquiéta plus. Quoiqu'il n'eût rien changé à son ancienne manière de vivre et qu'il continuât de remplir ses fonctions ecclésiastiques, comme s'il eût ignoré le danger qu'il courait, la Convention le nomma membre de la commission des Poids et Mesures, et il put, sans qu'il lui arrivât rien, plaider la cause de Lavoisier. Son impunité, remarqua Cuvier, est encore plus étonnante que son courage.

Haüy fit naturellement partie de l'Institut, lors de sa création. Appelé au conseil des Mines, il forma, en peu d'années, la magnifique collection qu'on admire dans les salles de l'École. C'est là qu'il prépara son grand *Traité de Minéralogie*. Cet ouvrage, dit Cousin, n'est pas moins remarquable par sa rédaction et la méthode qui y règne que par les idées originales sur lesquelles il repose. Haüy s'y montre habile écrivain et bon géomètre autant que savant minéralogiste.

À la mort de Daubenton, Haüy insista pour que Dolomieu, alors prisonnier en Sicile, fût nommé à sa place. Il lui succéda bientôt après, en 1802. Lors de la fondation de l'Université, le ministre créa pour lui une chaire de minéralogie à la Faculté des sciences, et lui adjoignit Brongniart pour le suppléer. Mais Haüy ne voulut pas porter le titre sans remplir au moins en partie les fonctions, et il faisait venir chez lui les élèves de l'École normale, pour les initier, au milieu de ses collections, à tous les secrets de la science.

La Restauration le priva, sous différents prétextes légaux, de la plupart de ses moyens d'existence, et son frère, revenu de Russie avec une santé perdue, étant tombé à sa charge, Haüy se trouva ramené bien près de l'état précaire où il avait passé sa jeunesse. Mais, au sein même de la gloire et de la fortune, il n'avait quitté aucune de ses premières habitudes, et il ne sentit que la privation de ne pouvoir faire le bien. Une chute faite dans sa chambre lui cassa le col du fémur, et, un abcès s'étant formé dans l'articulation, la guérison ne put pas être obtenue. Il ne laissait d'autre héritage que sa collection de cristaux, qui

fut d'abord acquise à très bon marché par un Anglais, mais quela France a rachetée depuis pour le Museum.

Les principaux ouvrages de Haly sont : *Essai d'une Théorie sur la structure des cristaux* (1781); *Exposition raisonnée de la Théorie de l'électricité et du magnétisme* (1787); *Traité de Minéralogie* (1801); *Traité élémentaire de Physique* (1803); *Tableau comparatif des résultats de la Cristallographie et de l'Analyse chimique, relativement à la classification des minéraux* (1809); *Traité des Caractères physiques des pierres précieuses* (1817); *Traité de Cristallographie* (1822). (V. ELECTRICITÉ, Production de l'électricité dans les minéraux.)

HAVEUSE ÉLECTRIQUE. — Machine à abattre le charbon dans la mine et mue par l'électricité.

La haveuse électrique de M. Chenot, construite à Paris par M. Piat en 1884, reçoit son mouvement d'une MACHINE GRAMME dont l'axe commande la manivelle du marteau par des tambours de friction et des poulies.

Hawksbee. — V. HAUKSBEK.

HÉLICE MAGNÉTISANTE. — Fil conducteur isolé enroulé en hélice dans l'intérieur de laquelle on peut placer un noyau de fer doux ou d'acier auquel le passage d'un COURANT électrique dans l'hélice communique des propriétés magnétiques. (V. SOLÉNOÏDES.)

L'hélice est dite *sinistrorsum* quand l'enroulement est dirigé de droite à gauche et *dextrorsum* quand il est dirigé de gauche à droite.

HÉLIOGRAVURE ou PHOTOGRAVURE. — L'héliogravure (littéralement, *gravure au soleil*) a pour but de transformer les épreuves photographiques en plaques gravées, capables d'être tirées à la presse comme les eaux-fortes et les gravures en taille-douce. Dès l'invention du daguerrétype, Donné essaya de transformer les plaques daguerriennes en plaques propres à la gravure. Il se servit d'acide chlorhydrique faible pour attaquer la plaque de métal, de manière à obtenir une plaque susceptible de fournir des épreuves sur papier par le tirage en taille-douce. Ce procédé était très imparfait, et, en admettant que le métal fût attaqué également sur toute sa surface par l'acide, la mollesse de l'argent limitait extrêmement le tirage, qui ne pouvait s'élever à plus de cinquante épreuves sans déformer les traits de la gravure. Fizeau arriva à des résultats plus satisfaisants par un procédé qui demandait trop de soin et était trop compliqué pour devenir industriel. Il commençait par attaquer avec de l'eau acidulée les parties noires de l'image qui sont formées par le sel d'argent impressionné, mais il ne touchait pas aux parties blanches; il obtenait ainsi une plaque gravée en creux, mais dont la profondeur était trop faible pour donner une bonne impression; alors il enduisait la plaque d'une huile grasse qui se fixait dans les creux et respectait les saillies; il dormit ensuite la plaque à l'aide de procédés GALVANAIQUES. L'or ne se déposait que sur les parties saillantes qui n'étaient pas protégées par l'huile; il nettoyait ensuite la plaque et, au moyen de l'acide azotique, il approfondissait les creux qui restaient seuls attaquables par l'acide, les parties saillantes étant recouvertes d'une couche d'or. Puis, pour rendre la gravure suffisamment résistante, il déposait par la GALVANOPLASTIE une couche de cuivre. La découverte de la photographie sur papier d'abord les esprits des recherches de ce genre. On y revint, mais lorsque la photo-

graphie sur papier eut donné tout ce qu'elle pouvait fournir.

L'ingénieur Poitevin a particulièrement contribué aux progrès de l'héliogravure. Dès 1847, il était parvenu à obtenir des gravures en un cliché en relief ou en creux. Voici, d'après M. Tissandier, la première méthode trouvée par le savant opérateur; on pourrait l'appeler méthode GALVANOPLASTIQUE: Poitevin formait d'abord le dessin par les moyens connus de la daguerréotypie, c'est-à-dire en impressionnant dans la chambre noire, on à travers une gravure rendue transparente, une plaque d'argent iodé. Cela fait, la plaque est exposée, comme d'habitude, aux vapeurs de mercure; le dessin apparaît. Alors, sans dissoudre l'iodure d'argent qui n'a pas subi l'action de la lumière, la plaque est attachée au PÔLE NÉGATIF d'une pile électrique et plongée dans le BAIN GALVANOPLASTIQUE. Le dépôt de cuivre a lieu seulement sur les parties métalliques ou amalgamées à la surface, c'est-à-dire sur celles qui correspondent aux blancs du dessin. Celles qui sont protégées par une couche non conductrice d'iodure d'argent sont préservées. Une fois cette opération terminée, un lavage à l'hyposulfite de soude enlève l'iodure d'argent et met à nu l'argent métallique qu'il recouvre. Le cliché apparaît donc ainsi: les clairs du dessin sont recouverts de cuivre, les ombres sont formées de l'argent de la plaque primitive. On chauffe légèrement pour oxyder le cuivre et on répand du mercure sur la plaque; le métal liquide s'amalgame seulement avec l'argent et ne se combine pas avec l'oxyde de cuivre qu'il laisse à nu. On couvre ensuite la plaque de feuilles d'or; même phénomène va se reproduire: l'or adhère seulement sur les parties amalgamées qui, ne l'oublions pas, représentent les ombres du dessin. Les clairs restent toujours tracés par l'oxyde de cuivre. Cette dorure partielle étant exécutée, il ne reste plus à traiter la plaque que par l'acide nitrique ou eau-forte; l'acide rouge l'oxyde de cuivre, creuse la plaque là où sont les clairs du dessin et n'agit pas sur les parties dorées, qui apparaissent en relief, en saillie. On a une plaque qui peut servir à un tirage typographique. Poitevin obtenait de la même façon une gravure en creux; au lieu d'impressionner la plaque daguerrienne dans une chambre noire, ou à travers un dessin transparent, il l'impressionnait avec le cliché négatif de l'image à graver.

Non content de ces premiers résultats, Alphonse Poitevin imagina bientôt une seconde méthode d'héliogravure où apparaît une substance d'une importance considérable dans cet art: la gélatine, additionnée de bichromate de potasse. La découverte de l'action de la lumière sur certaines substances organiques, telles que gomme, albumine, gélatine, etc., en présence de l'acide chromique qui les rend insolubles dans l'eau par une oxydation, est un des plus grands faits de l'histoire de la photographie. Poitevin prend une feuille de gélatine bichromatée; après l'avoir impressionnée par la lumière, il la plonge dans le bain galvanoplastique. Il s'aperçoit que le cuivre se dépose seulement sur les parties non isolées et il constate en outre que, dans ces parties non isolées, la gélatine en contact avec le liquide se gonfle d'une façon très régulière et forme des reliefs. Au contraire, elle forme des creux plus ou moins profonds dans les endroits isolés, selon l'intensité plus ou moins grande de cette insolation. L'inventeur utilise immédiatement la propriété que possède la gélatine insolée de ne plus se gonfler par l'eau; une fois la feuille de gélatine obtenue avec ses creux et ses saillies, correspondant aux noirs et aux clairs du dessin, il la fait sécher et en prend un moulage en

plâtre. Le moule en plâtre, surmoulé encore par la galvanoplastie, sert à produire une planche de gravure sur cuivre. Cette deuxième méthode de Poitevin fut désignée sous le nom d'*hélioplastie*. L'inventeur la complète par un autre procédé assez ingénieux, qu'il décrit de la façon suivante : « Jobtiens également des gravures sur gélatine, mais sans cliché, en écrivant ou dessinant sur une surface sèche de gélatine pure, avec une dissolution de bichromate de potasse, et en exposant à la lumière; tous les traits restent en creux après l'action ultérieure de l'eau. » Poitevin n'avait pas été le premier à utiliser cette gélatine bichromatée. Mango-Ponto, Edmond Boucherel et Talbot principalement avaient employé cette substance et reconnu ses propriétés. En 1855, un Autrichien nommé Preschke perfectionna le procédé de Poitevin, en dissolvant dans l'eau tiède acidulée les parties de la gélatine bichromatée non insolées au lieu de les faire gonfler, c'est-à-dire en les creusant au lieu de leur donner du relief. Cette expérience fut le point de départ de la *phototypie* ou *photoglyptie*, arrivée à un état de perfectionnement voisin de la perfection.

M. Nègre, par un procédé qu'il tient secret, a obtenu aussi de très belles gravures photographiques; il fait usage du bitume de Judée, qui lui sert à ménager des réserves afin de protéger les parties qui ne doivent pas être dorées à la pile et, par conséquent, qui doivent être soustraites à l'action des acides. La dorure faite, on enlève le vernis avec un dissolvant quelconque, puis on expose à la lumière; on a ainsi une planche dont les blancs sont en relief et les noirs en creux, comme dans la gravure en taille-douce.

M. Baldus est un de ceux qui ont rendu la gravure photographique presque industrielle. Il a employé successivement deux procédés. En 1854, il impressionnait une plaque d'acier ou de cuivre, recouverte de bitume de Judée, au moyen d'un cliché négatif qui se traduisait en positif sur la plaque; puis, dissolvant les parties non impressionnées, il faisait apparaître l'image. Ensuite, au moyen de la galvanoplastie, il obtenait à volonté, soit une gravure en creux, soit une gravure en relief, en suspendant sa plaque dans un bain de sulfate de cuivre, au pôle positif ou au pôle négatif. Depuis 1855, M. Baldus ne fait plus usage de la galvanoplastie. Il se sert d'un sel de chrome pour préparer ses plaques de métal impressionnables. Après avoir obtenu son image par la méthode ordinaire, il trempe la plaque dans un bain de perchlorure de fer, qui a la propriété de dissoudre tout le chrome qui n'a pas été influencé; on a ainsi un léger relief que l'on augmente en faisant séjourner la plaque dans le perchlorure de fer, car les parties saillantes ayant été préalablement enduites d'encres d'imprimerie, l'action du mordant se borne aux creux déjà faits, et selon qu'on a fait usage d'un cliché photographique négatif ou positif, on a une gravure en creux ou en relief.

En 1855, MM. Garnier et Salmon trouvèrent un procédé ingénieux, décrit comme il suit par M. Monckhoven : Une planche de laiton est exposée dans l'obscurité aux vapeurs de l'iode, puis à l'action lumineuse derrière un négatif, et frottée avec un tampon de coton imbibé de mercure. Cette lame, soumise au rouleau d'encres grasses, repousse l'encres par ses parties amalgamées, mais y adhère par ses parties libres. Celles-ci forment alors la réserve, et la couche, traitée par le nitrate d'argent, donne une plaque en taille-douce après qu'on a enlevé l'encres grasses; mais, si l'on n'enlève pas l'encres grasses et qu'après la première morsure au nitrate d'argent on

fasse sur la lame un dépôt de fer galvanique, celui-ci se dépose sur les parties amalgamées, et l'encres enlevée laisse à nu le laiton iodé. On attaque de nouveau la planche par le mercure, qui n'adhère pas au fer. Soumise au rouleau d'encres grasses, celle-ci de nouveau ne prend pas sur le mercure, mais sur le fer. Si l'on veut une planche typographique, au lieu d'opérer un dépôt de fer, on dépose de l'or, puis on creuse les parties non dorées par un acide jusqu'à relief suffisant. M. Garnier a obtenu, par un procédé analogue, de belles gravures photographiques représentant des monuments, des paysages, etc., qui lui valurent le grand prix de photographie à l'Exposition universelle de 1867.

M. Rousselon, directeur de l'établissement photographique de M. Goupil, a réussi à transformer presque immédiatement la photographie en gravure (photogravure). Son procédé se résume ainsi : obtention sous un cliché photographique d'une épreuve sur gélatine préparée de telle sorte que l'image est grainée naturellement et proportionnellement à l'action de la lumière, c'est-à-dire que le grain, très énergique dans les noirs, diminue progressivement dans les demi-teintes et cesse tout à fait dans les blancs. Cette première image, moulée en plomb sous la presse hydraulique, est enfin transformée en planche de cuivre par la galvanoplastie. Les gravures en creux exécutées par ce procédé reproduisent le cliché photographique avec toutes les finesses de son moule. Ces planches servent à obtenir des gravures typographiques d'une très grande délicatesse.

HÉMOPHONE. — Nom donné (du grec *haima*, sang, et *phoné*, son) à un appareil électrique imaginé dans le but de produire un appel en cas d'hémorragie chez un malade.

HÉTÉROSTATIQUE (Méthode). — Méthode de mesure électrique dans laquelle on emploie une électrisation auxiliaire indépendante de celle des corps soumis à l'expérience.

HOLTZ (Machine de). — Machine produisant de l'électricité statique par influence. (V. MACHINES ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.)

HOMOLOGUE (Pôle). — Pôle qui, dans un corps pyroélectrique devient positif quand la température s'élève et négatif quand la température s'abaisse. (V. ÉLECTRICITÉ, Production de l'électricité dans les minéraux.)

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE. — L'emploi de l'électricité dans l'art de l'horlogerie est déjà ancien. Ainsi, au début de la télégraphie électrique, Wheatstone et d'autres physiciens proposèrent de transmettre électriquement le mouvement d'un régulateur à des cadrans récepteurs placés à distance, ce qui était facile en disposant ce régulateur de façon qu'il produisit des ouvertures et des fermetures de circuit; le courant était ainsi envoyé dans des électro-aimants dont les armatures étaient animées de mouvements alternatifs synchrones de ceux de l'horloge conductrice. Ce système de distribution de l'heure porte le nom de système de compteurs électro-chronométriques.

Un autre système de distribution de l'heure consiste à installer à chaque centre horaire une horloge ordinaire marchant indépendamment de l'électricité, et à relier toutes ces horloges télégraphiquement avec un régulateur central. Dans ce cas l'électricité est simplement employée à amener une concordance plus ou moins parfaite entre la marche de chacune des horloges et celle du régulateur central. Ce pro-

obédé de REMISE A L'HEURE, qui consiste à ramener l'heure indiquée par le régulateur les horloges qui en dépendent, est généralement suffisant dans la pratique. Il présente d'ailleurs l'avantage de ne pas nécessiter de PILES spéciales à chaque horloge et

de permettre l'emploi d'une ligne servant régulièrement à des transmissions télégraphiques. La remise à l'heure s'effectue, suivant les cas, toutes les heures ou toutes les douze heures.

Enfin, on désigne sous le nom d'horloges élec-

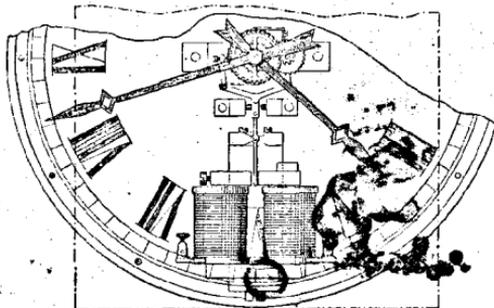


Fig. 1.

triques celles dans lesquelles l'électricité est utilisée comme force motrice dans le but d'obtenir une régularité plus grande que celle qui peut être demandée au mécanisme moteur des horloges actuelles et d'éviter le remontage périodique de ce mécanisme.

Du Moncel, dans son *Traité des Applications de l'électricité*, a étudié avec grands détails l'horlogerie électrique, et nous nous en sommes servi pour résumer brièvement les données de ce sujet. On se réfère aux compteurs électro-chronométriques et aux horloges électriques.

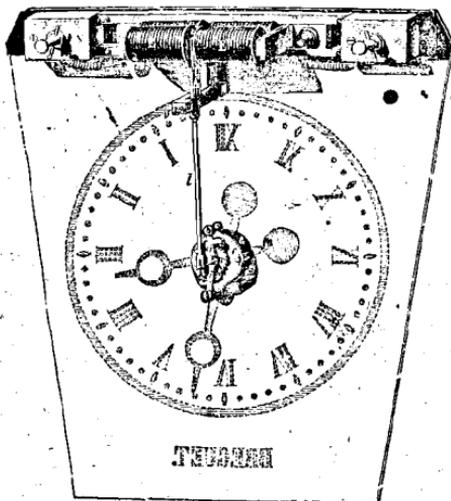


Fig. 2.

I. COMPTEURS ÉLECTRO-CHRONOMÉTRIQUES.

Ainsi qu'il a été expliqué plus haut, un compteur électro-chronométrique est un appareil dont le mécanisme est analogue à celui du récepteur d'un télégraphe à cadran (fig. 1), et que l'on place dans un circuit électrique en même temps qu'une horloge, à

marche aussi régulière que possible, qui manœuvre à intervalles fixes (toutes les secondes, tous les quarts de minute ou toutes les minutes) un interrupteur et envoie ainsi un courant qui fait avancer l'aiguille du compteur d'un angle déterminé pour chaque émission de courant.

La fig. 2 représente un modèle de compteur élec-

tro-chronométrique créé par la maison Bréguet et composé de deux électro-aimants E, E, entre les noyaux desquels oscille une armature en fer doux A, munie d'un bras *l* qui actionne une ancre *ii* agissant sur une roue à rochet dépendant de la minuterie. La première application de ce système a été faite, en 1856, à Lyon, où ces compteurs sont actuellement au nombre de soixante-douze, dans les rues de la ville; ils sont placés dans des lanternes à gaz (fig. 3); le nombre en a été augmenté en plusieurs fois jusqu'au chiffre actuel sur des rapports favorables du service compétent. A Paris, une des dernières installations est celle de la compagnie d'assurances *The New-York* (boulevard des Italiens).

L'une des plus grandes difficultés que l'on ait ren-

contrées dans l'horlogerie électrique est celle résultant de l'oxydation et de la détérioration des contacts électriques des interrupteurs, qui envoient dans les compteurs électro-chronométriques les courants qui doivent les actionner. Pour satisfaire aux conditions de bon contact, MM. Leclaché et Napoli ont construit un interrupteur à mercure. C'est le mélange de deux nappes mercurielles dans un espace hermétiquement clos qui opère les contacts. M. Liais a imaginé un interrupteur fondé sur le même principe que le précédent; seulement le récipient qui contient le mercure est fixe, et les contacts résultent de l'immersion d'une pointe métallique dans le mercure, immersion qui est effectuée sous une cloche hermétiquement close et remplie d'un gaz réducteur.



Fig. 3.

MM. Volcke et Kaiser et M. Everts en Hollande, pays où l'horlogerie électrique est très développée, consistent les interrupteurs de leurs appareils avec de simples lames armées de contacts d'or et de platine. M. Foucault s'est enfin imposé le problème de faire produire par le balancier de l'horloge directrice un bon contact sans nuire à l'isochronisme des mouvements de ce balancier. Dans tous les systèmes que nous venons d'énumérer, on se contente d'interrompre le courant à des intervalles de temps réguliers, mais non de l'inverser; on peut, en les modifiant, les transformer en inverseurs, mais cela n'est pas absolument nécessaire, parce que les compteurs électro-chronométriques n'étant mis en action que toutes les minutes, l'horloge régulatrice a le temps, pendant les interruptions du circuit, de faire agir un commutateur-inverseur indépendant de l'interrupteur.

Les interrupteurs ayant de nombreux inconvénients, certains inventeurs, MM. Gloesener, Wheatstone, Collin-Wagner, notamment, ont cherché à les supprimer et les ont remplacés par un système magnéto-électrique mis en action par le pendule de l'horloge

régulatrice ou par un mécanisme accessoire. C'est sous l'influence des COURANTS INDUITS qui résultent des aïcles et venues de ces aimants généraux, courants naturellement de sens contraire suivant la direction de leur mouvement, que fonctionnent les compteurs électro-chronométriques mis en rapport avec l'horloge régulatrice.

Voici maintenant quelques indications générales concernant les organes transmetteurs du mouvement. Nous avons dit plus haut que les courants envoyés à intervalles réguliers par l'horloge directrice dans les compteurs électro-chronométriques arrivent dans des électro-aimants dont les armatures sont par suite animées de mouvements alternatifs, synchrones de ceux de l'horloge conductrice. Ce sont ces mouvements qui déterminent la marche des aiguilles du compteur par l'entremise d'une roue à rochet et d'un cliquet d'impulsion. Mais, comme dans les attractions électro-magnétiques la force qui agit sur ces cliquets d'impulsion augmente dans une proportion considérable au moment où elle doit cesser, il arriverait, si on ne prenait aucune précaution, que la vi-

tesse acquise de la roue à rochet serait suffisante pour faire sauter plusieurs dents au lieu d'une seule. Aussi dispose-t-on ordinairement sur le levier portant le cliquet d'impulsion une sorte de dent que l'on a appelée *butoir de sûreté ou d'arrêt* qui, en se présentant devant la partie supérieure d'un des dents du rochet, immédiatement après l'échappement, établit un obstacle infranchissable à sa marche. Mais alors, comme on obtient des mouvements brusques incompatibles avec la délicatesse des organes d'horlogerie, on a été amené à éviter cette action nuisible en faisant agir sur le cliquet d'impulsion la force diamétralement opposée d'un ressort antagoniste. Un accessoire fort important des horloges électriques est le *contrôleur automatique*, à l'aide duquel on peut reconnaître à chaque instant si le courant passe régulièrement et avec une intensité convenable dans les différentes parties des circuits, sans que cette constatation trouble en rien la marche des appareils. Ce contrôleur doit également permettre de couper le circuit sans interrompre la marche du régulateur, avancer les aiguilles des cadrans et même renverser le courant de la pile. On trouvera dans l'ouvrage de Du Moncel (*Exposé des Applications de l'électricité*) des détails sur l'agencement et la construction de ces sortes d'appareils. Enfin, quand une horloge doit servir de régulateur pour la transmission de l'heure et que la régularité de sa marche ne doit pas être troublée pour sa remise à l'heure, en raison du désaccord qui se manifesterait entre elle et les compteurs auxquels elle transmet le mouvement, on est obligé d'adapter à cette horloge régularité des appareils auxquels on a donné le nom d'*accélérateurs* et de *retardateurs*. Ces appareils ont pour objet d'effectuer lentement et successivement les corrections pendant le fonctionnement de l'horloge. M. Liass s'est beaucoup occupé de ce système de réglage.

Principales dispositions des compteurs électro-chronométriques. — Les dispositions des compteurs électro-chronométriques sont extrêmement variées; il nous est donc impossible de donner ici une description, même sommaire, de ces divers systèmes; nous devons nous contenter de les classer et d'indiquer les particularités les plus remarquables des principaux types. Du Moncel classe les compteurs électro-chronométriques en quatre catégories; savoir : 1° les compteurs à mouvement direct et à un seul cliquet d'impulsion; 2° les compteurs à double cliquet d'impulsion; 3° les compteurs à mouvement d'horlogerie; 4° les compteurs électro-chronométriques mis en jeu par des courants magnéto-électriques.

1° Compteurs électro-chronométriques à mouvement direct et à un seul cliquet d'impulsion. — M. Froment, M. Paul Garnier et M. Bréguet ont été les premiers en France à construire d'une façon satisfaisante ces sortes de compteurs. L'horloge type est une pendule ordinaire; c'est sur l'axe de la roue de décalé du mécanisme de la sonnerie de cette pendule qu'est pris le mouvement qui met en jeu l'interrompneur du circuit correspondant aux compteurs. Le courant est fermé toutes les six secondes. Le jeu du compteur se comprend aisément : la fermeture du courant rend actif un électro-aimant dont l'armature se soulève alors en entraînant un levier qui, à l'aide de son crochets d'impulsion, fait avancer le rochet d'une dent. En même temps, un butoir vient se placer devant l'une des dents de ce rochet et l'empêche d'être poussée plus loin. La roue à rochet se trouve dégagée aussitôt que le courant cesse de passer dans l'électro-aimant, mais elle est maintenue

dans sa position par un cliquet de retient et le butoir dont il a été question plus haut. M. Froment a muni les armatures de ses électro-aimants d'un répartiteur qui maintient la force électro-magnétique égale pendant tout le temps de l'attraction; il obtient ainsi pour les aiguilles du compteur un battement sec et sans treblement, le treblement pouvant quelquefois faire échouer l'encliquetage. M. Collin-Wagner a imaginé, dès 1846, un compteur électro-chronométrique fort simple. Il fonctionne sous l'influence d'une rupture de circuit et, par conséquent, sous l'action d'un ressort antagoniste placé à l'extrémité du levier de l'armature électro-magnétique, levier qui est très long. M. Robert-Houdin a imaginé aussi plusieurs sortes de compteurs dont les dispositions ingénieuses sont décrites en détail par Du Moncel. On trouvera dans ce même ouvrage des descriptions fort complètes sur les systèmes imaginés par MM. Liass, Mildé, Leclanché et Napoli, Fournier, Bain, Volcke, etc.

2° Compteurs électro-chronométriques à double cliquet d'impulsion. — Nous avons expliqué plus haut le but que l'on s'était proposé dans l'application du double cliquet aux compteurs électro-chronométriques. Ces compteurs peuvent être disposés de deux manières, dit Du Moncel, soit sur une seule et même pièce des mouvements de laquelle ils sont solitaires, comme les palettes d'une ancre d'échappement, soit indépendamment l'un de l'autre. Il convient de citer les compteurs de M. Regnard, de MM. Mildé et Leclanché, de M. Hipp, de M. Siemens et de M. Digne, de M. Bréguet, etc., dont on trouvera les descriptions dans l'ouvrage de Du Moncel.

3° Compteurs électro-chronométriques à mouvement d'horlogerie. — MM. Wheatstone et Bréguet ont eu, les premiers, l'idée de construire des compteurs électro-chronométriques à l'aide de mouvements ordinaires de pendule ou d'horloge dans lesquels le pendule est remplacé par une action électro-magnétique dirigée par une horloge régulatrice. Le rôle de l'électricité se trouve ainsi réduit à un simple déclenchement déterminé en temps voulu sous l'influence d'une fermeture de courant; par contre, le compteur électro-chronométrique doit être remonté comme les horloges ordinaires. Nous citons les compteurs construits suivant ce principe par MM. Gondolo et V. Perret, et par M. Laguerre, qui se trouvent décrits dans le livre de Du Moncel, auquel nous renvoyons pour plus de détails.

4° Compteurs électro-chronométriques mis en jeu par des courants magnéto-électriques. — On a cherché à faire fonctionner les compteurs électro-chronométriques sous l'influence de courants magnéto-électriques développés par une horloge régulatrice assez puissante pour faire fonctionner des appareils d'induction; M. Collin-Wagner aurait, paraît-il, fait une horloge de ce genre en 1847; mais, d'après Du Moncel, c'est M. Wheatstone qui a fourni la meilleure solution de ce problème. Les courants électriques qui font fonctionner les appareils sont fournis par une bobine d'induction qui constitue la bobine pesante du pendule de l'horloge régulatrice. Cette bobine enveloppe au moment de ses oscillations deux aimants recourbés. Un poids assez pesant entretient le mouvement de ce pendule par l'intermédiaire des rouages de l'horloge. Il convient également de citer les appareils de M. Gläserer, qui rentrent dans cette catégorie.

Comme exemple de compteurs électro-chronométriques, nous donnerons une description sommaire de celui exposé en 1878 par M. Mildé et de celui imaginé vers la même époque par M. Thomas.

Compteur électro-chronométrique de M. Milldé. — Dans ce compteur (fig. 4), l'émission de courant se fait par l'ancre d'échappement A, dont l'axe est, à cet effet, relié électriquement avec la pile tandis que la roue d'échappement R est en communication avec la ligne qui aboutit aux différents compteurs-récepteurs. Cette roue porte en un de ses points une cheville d'or l contre laquelle vient buter une palette de platine b

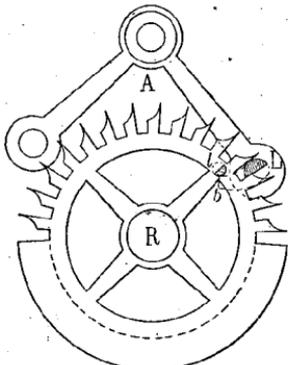


Fig. 4. — Compteur électro-chronométrique de M. Milldé (Garici).

placée près de l'une des levées L, qui sont en pierre dure. Le circuit se trouve ainsi fermé à chaque passage de cette cheville.

Quant au compteur, il comprend un rochet dont le mouvement commande celui d'une minuterie et un

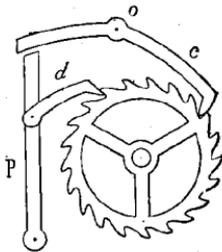


Fig. 5 (Garici).

électro-aimant dont la palette P (fig. 5) porte un doigt à rochet d qui fait avancer la roue lorsque celle-ci est attirée par l'électro. Dès que cette attraction cesse par suite de l'interruption du circuit, un ressort antagoniste ramène la palette en arrière. Un cliquet de sûreté qui, se plaçant entre deux dents, empêche la roue de tourner de plus d'une dent, et un cliquet de retenue e qui maintient cette roue dans la position prise par l'action du cliquet d'impulsion d, complètent le mécanisme. Ce cliquet de retenue est muni, de l'autre côté de son axe de rotation o, d'un prolongement qui empêche la palette de l'électro P de re-

venir en arrière tant que le cliquet n'a pas atteint sa position définitive. Il en résulte qu'un mouvement commencé doit nécessairement être terminé et que la roue à rochet ne peut tourner que d'une dent. (*Lum. élect.*, 1878.)

Compteur électro-chronométrique de M. Thomas. — Il marche synchroniquement avec une horloge distributrice qui envoie toutes les trente secondes un courant inversé à chaque émission. L'axe de l'aiguille des minutes porte une roue dentée, reliée par une série d'engrenages à une vis sans fin à axe vertical sur lequel est disposé le système électro-magnétique. Ce système consiste en un aimant ayant la forme représentée fig. 6, placé entre les pôles d'un électro-aimant; ces pôles sont en regard et diamétralement



Fig. 6.

opposés. Chaque fois qu'on inverse le sens du courant passant dans l'électro, l'aimant tourne; après un demi-tour, les pôles de noms contraires se trouvant en présence, l'attraction détermine l'arrêt, et la même série de phénomènes se produit à la deminute suivante. Une simple minuterie suffit pour actionner l'aiguille des heures. (*Lum. élect.*, 1880, n° 19.)

Tandis que le mode de distribution de l'heure par compteurs électro-chronométriques paraît être à peu près exclusivement réservé en France pour le service horaire des grands établissements : chemins de fer, hospices, etc., dans l'intérieur desquels les circuits sont à peu près garantis contre les accidents, il continue à l'étranger à desservir des agglomérations urbaines : Gand, Liège, Bruxelles, Milan, Neuchâtel, etc.

En dehors des accidents de circuit, les compteurs électro-chronométriques peuvent faire un excellent service si les dispositions électriques en sont bien entendues.

II. HORLOGES ÉLECTRIQUES PROPREMENT DITES.

On a vu que la distribution de l'heure par compteurs électro-chronométriques consiste à disposer un régulateur de façon à déterminer à intervalles réguliers des ouvertures et fermetures de circuit, et à envoyer ainsi des courants dans des électro-aimants dont les armatures sont animées de mouvements synchrones de ceux de l'horloge distributrice. On veut ensuite réduire cette horloge à un simple pendule, et on demande à l'électricité la faible dépense de force nécessaire à l'entretien de son mouvement et à la fermeture des circuits des horloges secondaires. On constitua ainsi les horloges électriques proprement dites. Depuis, divers constructeurs ont demandé à l'électricité l'énergie nécessaire pour la conduite des aiguilles, pour actionner des sonneries et pour accomplir une série d'autres mouvements. On donne donc le nom d'*horloges électriques* à toutes celles où l'électricité remplit, à quel titre que ce soit, la fonction de moteur.

L'utilité de ces recherches découle des considérations suivantes :

Les horloges ordinaires se composent, comme on sait, d'une série de rouages mus par un poids ; le mouvement communiqué à une roue d'échappement se trouve modéré et régularisé par un pendule ou un balancier à l'aide d'un embrayage en forme d'ancre, qui à chaque oscillation du pendule laisse échapper une dent de la roue régularisatrice. L'échappement fait réagir en même temps le mobile sur le pendule de façon à entretenir son mouvement, et comme les oscillations du pendule sont à peu près isochrones, on obtient ainsi un mouvement d'ensemble régulier. Malheureusement la longueur du pendule varie suivant la température, les engrenages prennent du jeu, les huiles qui graissent les rouages s'épaississent, la poussière s'introduit dans les différentes parties du mécanisme, et pour ces motifs divers toutes les horloges ne vont pas également bien ; on a cherché à combattre ces causes de dérangement. L'emploi de l'électricité permet, dit Du Moncel, d'obtenir de la part du moteur une action aussi constante que possible et d'établir entre l'intensité de l'action du moteur et l'angle du pendule une relation tendant à conserver l'isochronisme. En 1851, M. Liais a construit une horloge à échappement libre et à moteur constant. En 1853, M. Vérité, de Beauvais, a exécuté une horloge de ce genre.

Du Moncel distingue plusieurs catégories d'horloges électriques, savoir :

1° Les horloges à réactions directes et les horloges à remontoir. — Les horloges à réactions directes sont celles dans lesquelles on donne au balancier les fonctions d'un organe moteur en lui permettant de puiser à la source électrique l'énergie variable dont il a besoin suivant les résistances variables qu'il doit vaincre.

On trouvera dans l'ouvrage de Du Moncel les descriptions détaillées des pendules de ce genre construites par MM. Bain, Weare, Liais, Vérité, Froment, Robert-Houdin et Delouche, Paul Garnier, de Combettes, Royer, Granet de Genève, Garnier fils, Lasseau, Hipp, Gérard de Liège, etc.

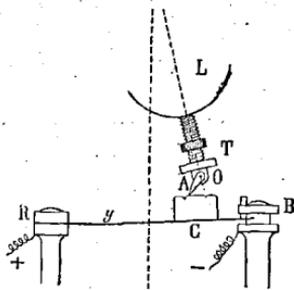


Fig. 7.

Nous citerons à titre d'exemple le principe de l'horloge de M. Hipp. Au-dessous du pendule, dont la lentille est représentée en L (fig. 7), se trouve fixée perpendiculairement au plan de cette lentille une petite traverse de fer doux T et au-dessous de cette traverse une languette A pouvant tourner autour d'un axe O. Sous le pendule, à quelque distance de la verticale, se trouve placé un électro-aimant (qui n'est pas

représenté sur la figure) dont la traverse T constitue l'armature (quand le pendule oscille, la traverse passe à une très faible distance des pôles de l'électro). Enfin, entre les branches de l'électro-aimant on a disposé une lame de ressort y fixée en R et qui, lorsqu'elle est abaissée, vient fermer le circuit en B, de sorte qu'un courant est envoyé dans l'électro-aimant. Sur la lame de ressort se trouve un bloc C muni de deux encoches et qui est rencontré à chaque oscillation par la languette A. Tant que les oscillations conservent l'amplitude nécessaire, la languette, en passant sur le bloc C, s'infléchit et le ressort ne bouge pas ; mais dès que les oscillations deviennent trop courtes, le pendule n'ayant plus la lancée suffisante, la languette s'introduit et reste dans l'une des encoches lorsque ce pendule termine une oscillation ; en revenant en sens inverse, la languette dont l'extrémité est engagée dans l'encoche se redresse, exerce ainsi une pression sur la pièce C et fait fléchir le ressort : un contact se produit en B, le courant passe dans l'électro, qui dès lors attire son armature T, ce qui donne une impulsion nouvelle au pendule. Les oscillations ayant repris leur amplitude primitive, la languette passe de nouveau sans produire l'abaissement du ressort, jusqu'au moment où le mouvement se ralentissant, le circuit se trouve fermé par la languette dans les conditions énoncées plus haut, et ainsi de suite. On parvient donc à maintenir les oscillations du pendule dans des limites parfaitement déterminées. (Gariel, *Traité pratique d'Électricité*.)

Les horloges à remontoir ne sont autres que des horloges dans lesquelles on ne demande à l'énergie électrique que le remontage permanent ou la constance du moteur.

Nous citerons les horloges de M. Bréguet, de MM. Mouilleron et Anthoine, de M. Langrenay, de

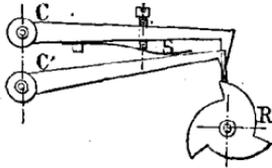


Fig. 8. — Vue en élévation.

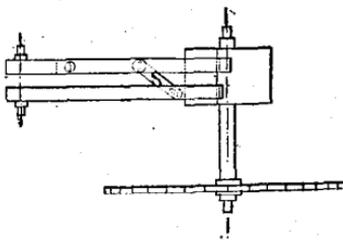


Fig. 9. — Vue en plan.

M. Caillaud, de M. Mildé, de M. Kerikuff, qui appartiennent à cette catégorie, et nous renvoyons, pour leur description, à l'ouvrage déjà cité de Du Moncel.

Comme exemple de ces systèmes nous donnerons une description sommaire de la pendule électrique à remontoir, à sonnerie et à répétition de M. Napoli

et de l'horloge à remontoir électrique constant de M. Barbey.

Le remontoir de la pendule de M. Napoli repose sur le même principe que celui qui est employé depuis longtemps déjà dans les horloges ordinaires. Un ressort en spirale contenu dans un barillet est remonté toutes les vingt secondes par un ÉLECTRO-AIMANT fonctionnant par un contact à double cliquet analogue à celui de M. Callaud (fig. 8). Sur l'axe de la roue des minutes est fixé un rochet à trois dents R qui fait un tour en une minute. Deux cliquets CC s'appuient constamment sur le rochet R. Ces cliquets sont placés côte à côte, et l'un d'eux est un peu plus long que l'autre. Il arrive nécessairement que le plus court C tombe le premier lors de la rotation du rochet et vient rencontrer, par l'intermédiaire du ressort S, le cliquet plus long C', en fermant ainsi le circuit de l'électro-aimant du remontoir. Mais aussitôt après, le second cliquet tombe à son tour, et le circuit est rompu. Par ce système on peut rendre la durée du contact aussi courte que possible, et cela en raison de la différence de longueur des deux cliquets, qui peut être aussi petite que

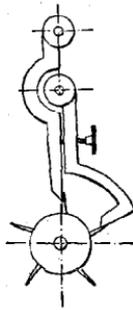


Fig. 10.

l'on veut. L'échappement de cette pendule est à coups perdus, ce qui donne la seconde fixe avec un balancier qui bat la demi-seconde (fig. 16). Le mécanisme de la sonnerie est analogue à celui employé depuis l'origine des pendules à répétition. Il consiste dans deux râtaux à crémaillères commandés par des limaçons (fig. 11). Le limaçon L des heures porte douze entailles de profondeurs différentes dans lesquelles l'extrémité du râteau R correspondant vient tomber chaque fois que la pendule sonne. Ce râteau à crémaillère est relevé par un électro-aimant E et un jeu de cliquets; la palette de l'électro-aimant porte le marteau qui frappe sur le timbre. C'est le balancier lui-même qui forme le circuit de la sonnerie, et les coups de timbre sont espacés d'une seconde. Pour les quarts le mécanisme est le même, sauf que le limaçon n'a que quatre entailles.

Pour la répétition un électro-aimant spécial D pouvant être actionné, à l'aide d'un bouton, à une distance quelconque de la pendule, déclenche les deux crémaillères celle des heures et celle des quarts, qui tombent sur les limaçons respectifs dans les entailles correspondantes aux heures marquées par les aiguilles. A ce moment l'électro-aimant des heures se trouve en communication avec le balancier, lequel à chaque double oscillation ferme le circuit. La palette est attirée en frappant un coup sur le timbre. Pendant le retour de la palette la crémaillère est soulevée d'une dent, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'heure soit complétée. Le dernier coup de l'heure sonné, la crémaillère rétablit automatiquement, à l'aide du commutateur G, le circuit de l'électro-aimant des quarts, qui fonctionne à son tour; et lorsque le dernier quart est sonné, la communication avec le balancier se trouvant interrompue, la sonnerie cesse pour recommencer un quart d'heure après, à moins qu'on ne la fasse répéter auparavant, comme il a été dit ci-dessus.

Dans toutes les pendules à remontoir électrique le

ressort en spirale qui détermine le mouvement est placé sur l'arbre de la roue d'échappement. La pression des dents de la roue d'échappement grandit avec la force du ressort, et dès que l'on donne à ce dernier une certaine force, les pressions peuvent devenir assez considérables pour créer des frottements capables d'empêcher le fonctionnement de l'échappement, et par suite, celui de la pendule. L'obligation où l'on se trouve ainsi de n'employer qu'un ressort très faible fait que la pendule ne peut marcher que pendant un temps très court sans être remontée, dans le cas où le pile électrique actionnant l'électro-aimant cesserait

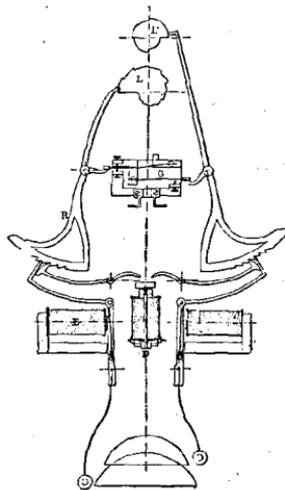


Fig. 11.

de fonctionner. Dans la pendule de M. Barbey, le ressort en spirale est disposé dans un barillet placé sur la roue des heures, et il est assez fort pour que la pendule, une fois remontée, puisse marcher pendant plusieurs jours sans s'arrêter. Cette pendule est pourvue d'un remontoir électrique agissant toutes les quinze secondes et qui rend au ressort la bande qu'il a perdue. Pour cela, la roue à rochet du barillet engrené avec un cliquet qui fonctionne comme il suit : Une roue d'engrenage montée sur l'arbre des heures commande un pignon calé sur un arbre parallèle à celui des aiguilles (fig. 12). Cet arbre porte une roue à rochet C qui commande un cliquet D établissant les ruptures ou les fermetures du courant électrique qui agit sur l'électro-aimant E. Dès que le courant passe dans l'électro-aimant E, la palette H est attirée et le cliquet K qu'il commande force la roue à rochet B du barillet à rétrograder d'une dent. Les nombres de dents des différentes roues sont calculés de telle sorte que le courant passe dans l'électro-aimant toutes les quinze secondes, et par conséquent le remontage électrique de la pendule a lieu aux mêmes intervalles. Le courant d'une pile formée de deux éléments Leclanché suffit pour le fonctionnement de ce remontoir.

Avec cette disposition, qui permet l'emploi d'un res-

sort relativement fort, on n'a plus à craindre d'arrêt de la pendule au bout de quelques instants dans le cas où la pile électrique viendrait à cesser de fonctionner, la pendule continuant alors à marcher comme une pendule ordinaire.

Nous devons ajouter que la pendule de M. Barbey, munie d'un balancier circulaire afin que ses indications ne soient pas influencées par les déplacements et les trépidations, peut être placée dans les trains de chemins de fer, les bateaux, etc. L'échappement n'offre aucune particularité; c'est un échappement ordinaire à cylindre. La pendule de M. Barbey a été construite pour le WAGON-DYNAMOMÈTRE de la Com-

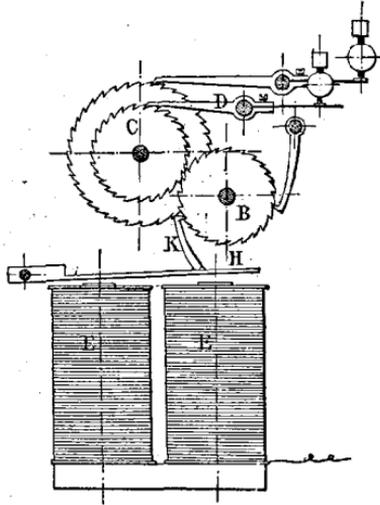


Fig. 12.

pagnie des chemins de fer de l'Est. Elle est pourvue, dans ce but spécial, d'un appareil servant à enregistrer les temps de dix secondes en dix secondes sur une bande de papier qui se déroule à distance. Pour cela, une roue à rochet faisant un tour toutes les cinq minutes est disposée sur un arbre parallèle à celui des aiguilles; sur ces dents appuie un cliquet dont la chute est également espacée et ferme le circuit d'une pile spéciale dont le courant passe dans l'électro-aimant de l'enregistreur placé à distance; alors le crayon trace une ligne en escalier sur la bande de papier, qui se déroule suivant la vitesse du train. On obtient ainsi sur la bande de papier un escalier toutes les dix secondes.

Humboldt (Frédéric-Henri-Alexandre, baron de), célèbre naturaliste et voyageur allemand, né à Berlin le 14 septembre 1769, mort dans la même ville le 6 mai 1859. Il descendait d'une riche et noble famille de Poméranie. Il fut élevé au château de Tegel, près de Berlin, sous l'œil paternel, par M. Campe, auteur du *Robinson allemand*, et par Christian Kunth, savant distingué, qui fut depuis membre de l'Académie des Sciences et conseiller d'Etat.

Lorsque le jeune Humboldt eut atteint l'âge de quatorze ans, il alla, en compagnie de son frère Guil-

aume, compléter ses études à Berlin. De 1786 à 1788, il étudia à l'université de Francfort-sur-Oder, et en 1788 il vint à Göttingue étudier la philosophie, l'histoire et les sciences naturelles, sous les professeurs Heyne, Eichhorn et Blumenbach. A Göttingue, Humboldt fit la connaissance de Georges Forster, gendre de Heyne, qui avait accompagné le capitaine Cook dans son second voyage autour du monde et qui inspira à son jeune ami le désir d'étudier les productions des tropiques. En 1790, il accompagna Forster et Goetz dans un voyage à travers l'Allemagne, la Hollande, l'Angleterre, et sur les deux rives du Rhin. Le résultat de cette excursion fut un ouvrage intitulé : *Observations sur les basales du Rhin*, qui parut en 1790 à Berlin. A la fin de 1790, il alla étudier à Hambourg les langues vivantes à l'école de Busch et d'Ebeling. Mais l'année suivante, sa mère, voyant son goût pour les sciences, résolut de l'envoyer à l'Académie des mines de Freiberg, pour étendre et perfectionner ses connaissances géologiques sous le professeur Werner, qui avait alors pour élèves le célèbre Léopold de Buch et Andrea del Rio. Humboldt, familiarisé par la nature de ses études avec la flore souterraine de Freiberg, ne tarda pas à publier, en 1793, son *Specimen florae subterraneaë Freibergensis et Aphorismi ex physiologia chimica plantarum*, ouvrage dans lequel il décrit les cryptogames et les plantes souterraines de ce district. Humboldt était assesseur du conseil des mines de Berlin, et directeur général des mines d'Anspach et de Bayreuth, et les devoirs de ces charges s'accordaient parfaitement avec son goût particulier pour les sciences naturelles. Tout en s'acquittant de la partie administrative de son emploi, il se livrait à de nombreuses recherches sur les moelles et sur les lampes propres à ne pas causer d'explosion dans les mines. Enfin il faisait dans son esprit le plan des voyages qu'il avait dessinés d'accomplir, et par de profondes études préparatoires se disposait à les entreprendre. C'est vers cette époque que Galvani fonda une science nouvelle sur les mouvements convulsifs d'une grenouille touchée sur un nerf par la lame de son bistouri. Humboldt, à la nouvelle de ces expériences, se jeta dans ce nouveau domaine ouvert à la science avec une impétuosité toute juvénile. Il se fit des blessures dans le dos, de manière à laisser le muscle à nu pour appliquer un métal propre à exciter des contractions. Le résultat de ces recherches fut publié en 1796, et la traduction française de cet ouvrage, *Expériences sur l'irritation nerveuse et musculaire*, fut enrichie de notes de l'illustre Blumenbach. La mort de sa mère, arrivée le 20 novembre 1796, détermina Humboldt à entreprendre le voyage qu'il méditait depuis si longtemps. Dans ce but, il vendit ses propriétés en Prusse et fit un voyage préparatoire en Suisse et en Italie, pour examiner les régions montagneuses et volcaniques de ces intéressantes contrées. Bientôt, de retour à Berlin, il partit pour Paris afin d'y acheter les instruments nécessaires à l'exécution de ses plans, d'y étudier nos belles collections d'histoire naturelle et d'y nouer connaissance avec les illustres savants qui étaient alors la gloire de l'Académie et de l'Institut. Travaillant avec Gay-Lussac et Arago, il acquit dans le laboratoire du premier et à l'Observatoire que dirigeait le second les connaissances pratiques qui lui manquaient. A la recommandation de ces deux savants, il obtint même du Directeur l'autorisation de se joindre à l'expédition du capitaine Baudin, qui devait faire un voyage de circumnavigation autour du globe. La guerre d'Allemagne et celle d'Italie enlevèrent au gouvernement français la possibilité de faire cette expédition, et Humboldt s'étant lié avec Bonpland, qui devait

accompagner le capitaine Baudin en qualité de naturaliste, les deux savants convinrent de visiter le nord de l'Afrique et d'explorer la chaîne de l'Atlas. Arrivés à Marseille, ils attendirent pendant plus de deux mois le vaisseau qui devait leur faire traverser la Méditerranée. Lassés enfin, ils allèrent partir pour Tunis lorsque la nouvelle de l'expédition d'Égypte les décida à aller passer l'hiver en Espagne avant d'aller en Égypte, comme ils en avaient l'intention. A leur arrivée à Madrid, les deux naturalistes furent reçus avec la plus grande distinction. Le roi d'Espagne leur donna la permission de voyager dans toutes les colonies espagnoles de l'Amérique et de visiter les îles Mariannes et les Philippines à leur retour. Ils acceptèrent cette offre et quittèrent Madrid en mai 1799. Le 3 juin, ils partirent de la Corogne sur le vaisseau le *Pizarre* et, après avoir visité le pic de Ténéric, ils atteignirent le 16 juillet le port de Camana, capitale de la Nouvelle-Andalousie. Ayant alors vérifié leurs instruments et terminé leurs autres préparatifs de voyage, Humboldt et Bonpland traversèrent la Nouvelle-Andalousie et la Guyane espagnole, déterminant la position géographique de leurs principales stations, étudiant l'histoire naturelle du pays, observant les phénomènes météorologiques, examinant les antiquités et notant les mœurs et les coutumes des habitants. Cette exploration de l'Amérique du Sud, qui ne dura pas moins de cinq années, peut être considérée comme sans analogue, si l'on a égard à l'importance des recherches scientifiques qui en furent l'objet et aux dangers de toute nature que coururent les deux voyageurs. Après avoir navigué pendant soixante-quinze jours dans un canot indien sur l'Orinoco, l'Apure, l'Arabapo, le Rio-Negro et le Cassiquiri, ils furent arrêtés à Angosiara, au mois de juin 1800. Ils firent là un séjour de deux mois, à cause du blocus anglais, et arrivèrent à la fin de l'année à La Havane, où ils restèrent environ deux mois et demi. Ils quittèrent l'île de Cuba au mois de mars 1801, dans l'intention de rejoindre l'expédition du capitaine Baudin aux îles Philippines. Mais, ayant appris que ce projet était impraticable, ils se rendirent à Carthagène, remontèrent le fleuve des Amazones pendant cinquante-quatre jours, et, après avoir visité des régions fort curieuses, ils arrivèrent le 6 janvier 1802 à Quito, où ils restèrent cinq mois. Le 23 juin, accompagnés de Carlos Montufar, ils firent l'ascension du Chimborazo, élevé de 19.300 pieds anglais au-dessus du niveau de la mer, et le point des Andes le plus élevé qu'aucun voyageur eût encore atteint. Après avoir visité Lima, ils s'embarquèrent, vers la fin de décembre 1802, pour Guayaquil, descendirent à Acapulco, et, passant par Pasco et Cuznaveca, arrivèrent au mois d'avril à Mexico. Ils restèrent plus d'un an dans ce curieux pays, visitant les mines de Moran, la singulière chute de Regla, et, le 17 septembre 1803, montant au volcan de Jorullo, une des merveilles du nouveau monde. De Mexico nos voyageurs vinrent à La Havane et de là aux Etats-Unis, où ils visitèrent Philadelphie et Washington. Riches de nombreuses et importantes collections, ils quittèrent l'Amérique, le 9 juillet 1804 et abordèrent au port de Bordeaux le 3 août de la même année. Ils se rendirent ensuite à Paris pour y préparer la publication de leur voyage. Humboldt resta dans cette capitale jusqu'au mois de mars 1805, époque à laquelle il partit pour l'Italie; puis il alla à Berlin et revint à Paris en 1807. Il y demeura vingt ans, refusant les offres les plus magnifiques du gouvernement prussien. Durant le court séjour qu'il avait fait à Berlin, il s'était occupé à observer les solstices et les équinoxes, et à noter les variations de l'AGUILLE

AIMANTÉE, chaque demi-heure, pendant plusieurs jours et plusieurs nuits. L'objet de ces observations était d'étudier ce qu'on appelle les *tempêtes magnétiques*, sujet étudié depuis avec un grand succès par Arago et le général Sabine. Les résultats du voyage d'exploration de Humboldt et Bonpland ont été consignés dans une œuvre monumentale, divisée en sept parties, dont chacune forme un ouvrage à part. En 1818, lorsque les souverains allés visitèrent l'Angleterre, Humboldt accompagna le roi de Prusse à Londres, et, au mois de novembre de la même année, ce prince lui accorda une pension de 12.000 dollars pour l'exécution d'un plan qu'avait conçu le voyageur, celui de visiter le Tibet et les monts Himalaya. Des difficultés politiques retardèrent l'accomplissement de ce plan. En 1822, Humboldt accompagna le roi de Prusse au congrès de Vérone; puis il fit, avec Gay-Lussac, un voyage scientifique en Italie, visitant successivement Venise, Rome et Naples. A son retour, il passa quelque temps en Angleterre, et en 1823 il publia son *Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux hémisphères*. Se rendant enfin au désir de son souverain, Humboldt quitta Paris, en 1827, pour se rendre à Berlin, où il fut accueilli avec la plus grande faveur et nommé conseiller intime. Durant les hivers de 1827 et 1828, il fit, sur les phénomènes physiques de l'univers, plusieurs conférences qu'il a reproduites depuis dans son *Cosmos*. En 1828, il fut élu président du congrès des naturalistes et des philosophes allemands, qui se tint à Berlin le 18 septembre. Au printemps de 1829, Humboldt, qui entraît dans sa soixante-troisième année, fut invité par l'empereur de Russie à entreprendre, aux frais de sa cassette particulière, un voyage dans les provinces orientales de son empire et dans l'Asie centrale, ayant pour principal objet l'avancement de la science géologique et des recherches sur le MAGNÉTISME TERRESTRE. Humboldt accepta cette offre et s'adjoignit le célèbre naturaliste Ehrenberg pour la zoologie et la botanique, et Gustave Rose pour la chimie et la minéralogie, se réservant à lui-même les observations astronomiques et magnétiques. Conduits par Menschenin, ingénieur russe, qui devait leur servir de guide et d'interprète, les voyageurs quittèrent Saint-Petersbourg le 20 mai 1829, et s'étant embarqués à Novgorod, sur le Volga, passèrent par Kazan, aux steppes kirghizs, visitèrent Bolgari, la capitale des Tarfars, et gagnèrent la Perse par Callicherbourg, sur le flanc asiatique de la grande chaîne des monts Ourals. Avançant le long de la chaîne méridionale de ces monts, ils arrivèrent à Astrakan et à la mer Caspienne, et, retournant à travers le pays des Cosaques du Don, ils gagnèrent Moscou et atteignirent Saint-Petersbourg, en novembre 1829, ayant accompli en six mois un voyage de 2.330 milles géographiques. Le résultat de cette grande expédition a été consigné dans deux ouvrages, l'un par Gustave Rose, l'autre par Humboldt. L'ouvrage de Rose, publié à Berlin, de 1837 à 1847, en deux volumes, est intitulé : *Minéralogie-Géognésie, voyage à travers l'Oural et l'Altai jusqu'à la mer Caspienne*; celui de Humboldt, publié en trois volumes (Paris, 1843), est intitulé : *L'Asie centrale, recherches sur les chaînes de montagnes et la climatologie comparée*. Cet ouvrage, dédié à l'empereur de Russie, a eu pour principal résultat de faire établir des observations magnétiques et météorologiques de Saint-Petersbourg à Pékin. Cet exemple fut imité par l'Angleterre pour l'hémisphère austral. De 1836 à 1848, Humboldt résida alternativement à Berlin et à Paris, et, bien que n'étant pas un homme politique, il fut plusieurs fois chargé par son gouvernement de missions impor-

tantes auprès du gouvernement français. Après la Révolution de 1830, il fut chargé par la Prusse de reconnaître le nouveau gouvernement de Louis-Philippe. En avril 1835, Humboldt eut la douleur de perdre son frère Guillaume, qui expira dans ses bras. En 1843 et 1844, âgé de soixante-quinze ans, il composa ce remarquable ouvrage (dédié au roi de Prusse), qu'il intitula *Cosmos*, essai d'une description physique du monde. Il fut publié en trois volumes, à Stuttgart et à Berlin, de 1844 à 1851. Cet ouvrage a été traduit en anglais, sous le patronage de l'auteur, par MM. Sabine et aussi par miss Utté. Il a été traduit en français, sous les auspices d'Arago, par MM. Fayc et Goluski. Les services rendus par Humboldt à la science, et que les limites de notre cadre ne nous permettent pas de détailler, ont été récompensés par toutes les nations intelligentes du globe. Parmi les décorations qu'il reçut des différents souverains, celle de grand officier de la Légion d'honneur fut accueillie par lui avec la plus grande reconnaissance. En 1850, à la mort du savant Cavendish, il fut élu l'un des huit associés étrangers de l'Académie des sciences, et il était, un autre, membre honoraire ou correspondant de toutes les institutions scientifiques de l'ancien et du nouveau monde. En 1858, comme il mettait la dernière main à son *Cosmos*, Humboldt apprit la mort de son ami et compagnon de voyage, Aimé Bonpland, et bientôt après fut saisi de la maladie qui l'emporta lui-même, le 6 mai 1859, à Posdam, où il habitait. Il avait environ quatre-vingt-dix ans. La perte d'un tel homme fut déplorée à l'égal d'un malheur public dans tous les rangs de la société de Berlin, et les plus grands honneurs furent rendus à sa dépouille mortelle.

Le 14 septembre 1869, la plus grande partie de l'Allemagne célébrait l'anniversaire de la naissance d'Alexandre de Humboldt; mais c'est surtout à Berlin que cette solennité eut un éclat extraordinaire. Ce même anniversaire excita le plus vif enthousiasme dans les principales villes des États-Unis d'Amérique, où le nom de Humboldt est aussi populaire qu'en Allemagne.

HYDRO-ÉLECTRIQUE (Bain). — Procédé de *faradisation générale*. (V. FARADISATION et BAIN ÉLECTRIQUE.)

HYDRO-ÉLECTRIQUE (Phénomène). — M. Bjerknès et M. Decharme ont imité dans l'eau, avec une force mécanique, les principaux phénomènes électriques et magnétiques. Ces phénomènes ont été appelés par M. Bjerknès **phénomènes hydro-électriques**. (V. FLUIDE ÉLECTRIQUE.)

HYDROGÈNE ÉLECTROLYTIQUE. — Nom sous lequel on désigne l'hydrogène naissant, lequel possède certaines propriétés réduites que n'a pas l'hydrogène préparé depuis un certain temps.

HYDROMÉTROGRAPHE. — Appareil servant à indiquer automatiquement les variations du niveau de l'eau dans une rivière, un canal ou un réservoir quelconque. Ces appareils peuvent se réduire à deux types principaux : les *hydrométrigraphes à diaphragme* et les *hydrométrigraphes à cadran*. L'hydrométrigraphé de M. Ravaglia fonctionne comme un poste télégraphique automatique exécutant chaque fois qu'on le veut des dépêches en caractères Morse à n'importe quel poste télégraphique. Le récepteur est un appareil Morse ordinaire. Il suffit pour cela de relier l'instrument au poste télégraphique le plus proche.

L'hydrométrigraphé se compose en principe d'un flotteur qui, en se soulevant, fait tourner un cylindre enroulé d'une substance isolante. Ce cylindre porte sur sa surface des saillies en métal d'une grande conductibilité et de largeurs différentes; une pointe

métallique vient buter contre ces saillies, et, comme le temps pendant lequel le contact a lieu dépend de la largeur des saillies, on comprend que le récepteur puisse tracer alternativement des points et des lignes de différentes longueurs. Les plus grandes représentent des mètres, les moyennes des décimètres et les points des centimètres. Le mécanisme est disposé de telle sorte que les variations du niveau de l'eau correspondent à la longueur des traits. (*Lum. élect.*, t. XVII, p. 68.)

HYDROPHONE (du grec *hudr*, eau; *phôn*, son).

— Appareil microphonique, imaginé par M. A. Pares d'Alons, pour la recherche des fuites dans les canalisations d'eau. Il se compose d'une tige en substance bonne conductrice du son, que l'on promène au-dessus de la conduite d'eau dont on veut explorer l'état. Cette tige est maintenue verticale par une monture à trépied et son extrémité supérieure est attachée à une douille qui porte un **MICROPHONE**. L'appareil est complété par une **PILE SÈCHE**, par un **TÉLÉPHONE** et un contact en forme de poire permettant de laisser le circuit de la pile normalement ouvert et de ne le fermer qu'au moment de l'observation. À l'aide de cet appareil on perçoit distinctement à l'oreille le bruit occasionné par une fuite.

HYDROSTATIMÈTRE. — Nom donné à un appareil **INDICATEUR** des variations du niveau de l'eau. Ces variations sont indiquées par une aiguille qui se déplace dans un sens ou dans l'autre lorsque l'eau en montant provoque l'émission d'un courant positif ou lorsqu'en descendant elle provoque l'émission d'un courant négatif.

HYGROGRAPHE. — Hygromètre enregistreur. (V. ENREGISTREURS MÉTÉOROLOGIQUES.)

HYPNOSCOPE (du grec *hpnos*, sommeil, et *skopeo*, je vois). — Appareil imaginé par le Dr Ochorowicz pour découvrir et mesurer en quelque sorte la sensibilité hypnotique, c'est-à-dire la faculté d'être influencé par les pratiques de l'hypnotisation. Nous donnons ci-dessous et sous toutes réserves le résumé des observations de M. Ochorowicz. Il a reconnu que toutes les personnes sensibles à l'**AIMANT** sont hypnotisables et ceci à un degré correspondant à leur sensibilité à l'action de l'aimant, tandis que toutes les autres sont réfractaires. L'**HYPNOSCOPE** est un aimant tubulaire dont la forme rappelle celle de l'électro-aimant Joute, seulement les lignes de force y sont dirigées plutôt en dedans qu'en dehors du tube aimanté. Ce tube a 0m,03 à 0m,04 de diamètre, 0m,055 de longueur et pèse seulement 169 grammes. Il a une force remarquable, puisqu'il soulève jusqu'à 25 fois son poids. La *fig.* ci-contre le représente vu en coupe transversale. Après avoir retiré son armature A, on introduit l'index de la personne soumise à l'épreuve dans l'hypnoscope, de manière qu'il touche les deux pôles à la fois, et après deux minutes on le retire en examinant les modifications qui ont pu se produire dans le doigt. Chez 70 personnes sur 100 prises au hasard, on n'observa aucun changement, dit M. Ochorowicz; chez 30 environ, on constata des modifications *subjectives* ou *objectives*. Les modifications *subjectives* sont les suivantes : 20 fois sur 100 le patient éprouve des fourmillements et picotements désagréables; 17 fois sur 100 il a la sensation d'un souffle froid ou une sensation de chaleur et de sécheresse. Les deux impressions peuvent coexister l'une dans le bras droit, l'autre dans le bras gauche.



L'aimant mis sous la plante des pieds de quelques paralytiques réchauffe les malades alors qu'un bon feu reste impuissant; 8 fois sur 100, sensations douloureuses, douleurs dans les articulations; 5 fois sur 100, sensation du gonflement de la peau, gonflement qui peut être réel, car il est quelquefois difficile de retirer le doigt d'entre les poles de l'hypnoscope; 2 fois sur 100, sensation de lourdeur dans le doigt ou dans le bras entier; 2 fois sur 100, sensation d'entraînement irrésistible suivi d'une attraction réelle et presque toujours de la contraction avec insensibilité complète. Les modifications objectives appartiennent à l'une des quatre catégories suivantes : mouvements involontaires, insensibilité, paralysie, contraction. Les phénomènes provoqués disparaissent au bout de quelques minutes sous l'influence d'un massage léger, sans qu'ils peuvent durer plusieurs minutes et même plusieurs heures.

M. Ochorowicz explique ces faits par l'influence exercée par l'aimant sur le système nerveux des personnes prédisposées. Cette action physiologique a été très peu étudiée; il n'en existe pas moins un certain nombre d'expériences relatives à l'action thérapeutique. Il ajoute : « L'insuffisance de la théorie n'entraîne en rien l'emploi pratique de l'hypnoscope, et, s'il est exact qu'il nous donne en même temps des indications utiles sur l'état des nerfs dans les maladies nerveuses, on entrevoit facilement l'importance de cette application. Les révélations de l'hypnoscope démontrent la nécessité d'un dédoublement futur de la thérapeutique. Il devient inutile et même imprudent d'appliquer les mêmes remèdes à des personnes sensibles et non sensibles. Pour un grand nombre de malades hypnotisables, tous les remèdes sont également bons ou également mauvais, d'après les influences nerveuses particulières. On peut neutraliser de fortes doses des médicaments les plus typiques et reproduire leur effet d'une manière tout à fait positive par suggestion. Chez les personnes sensibles on obtient une amélioration souvent instantanée, sous l'influence de certains moyens mimiques que l'hypnotisme et le magnétisme mettent à notre disposition. Il semble que cet ordre de recherches mérite d'attirer l'attention des physiologistes et des médecins. »

Voici au mot *HYRNOSIS* la relation des expériences faites par M. Charcot à la Salpêtrière pour établir que certaines manifestations hystériques peuvent sous l'influence de l'aimant être transférées d'un sujet à un autre sujet, même lorsqu'ils sont placés à une certaine distance l'un de l'autre.

HYPNOTISME (du grec *hypnos*, sommeil). — Terme employé aujourd'hui pour désigner le magnétisme animal, considéré dans le sens strictement scientifique. C'est, d'après la définition de M. P. Richer, « l'ensemble des états particuliers du système nerveux déterminés par des manœuvres artificielles ».

Ces manœuvres ou procédés employés pour arriver à produire l'hypnotisme peuvent varier presque à l'infini, suivant les sujets et suivant les opérateurs. C'est ainsi que Braid employait le procédé suivant : Tenait un objet brillant à 0^m,30 environ des yeux du sujet, il le lui faisait regarder fixement pendant un certain temps et forçait ainsi les globes oculaires à une convergence pénible; puis, lorsqu'à la contraction des pupilles avait succédé la dilatation, il dirigeait les doigts un peu écartés vers les yeux, et les paupières se fermaient. — M. Teste, imitant certains magnétiseurs indous, emploie le regard seul : « Vous vous asseyez dit-il, vis-à-vis de votre sujet. Vous l'engagez à vous regarder le plus fixement qu'il pourra, tandis que, de votre côté, vous fixez sans interruption vos yeux sur

les siens. Quelques profonds soupirs soulèveront d'abord sa poitrine; puis ses paupières cligneront, s'humecteront de larmes, se contracteront fortement à plusieurs reprises, puis enfin se fermeront. » — D'autres emploient, soit l'occlusion mécanique des paupières jointe à une certaine pression des globes oculaires au moyen des doigts, soit une pression légère et continue du vertex. Les excitations sensorielles intenses, comme l'explosion d'une arme à feu, ou monotones et douces, comme le tic-tac d'une montre, peuvent aussi déterminer l'hypnotisme. Les passes des anciens magnétiseurs, employées d'ailleurs encore aujourd'hui, doivent agir en produisant une excitation faible et régulière de la réline. On a vu l'hypnotisme être la conséquence d'émotions vives, d'une préoccupation forte et continue, de l'attente d'un phénomène important, de l'idée même qu'on va pouvoir être hypnotisé. L'observation de ce dernier phénomène (hypnotisé par persuasion) a conduit M. Liébault et après lui M. le professeur Bernheim de Nancy, à leurs expériences sur l'hypnotisme par *suggestion*. M. Bernheim, employant à peu près les procédés de l'abbé Paria, dit à ses malades de s'abandonner à l'idée du sommeil, il leur persuade que les phénomènes du sommeil naturel se produisent, il leur dit : « Vous allez sentir une lourdeur dans les paupières, une fatigue dans vos yeux; vos yeux cligneront, ils vont se mouiller. » La vue devient confuse, les yeux se ferment, etc., et la plupart des sujets s'endorment immédiatement.

Dans tous ces procédés le consentement et l'abandon du sujet sont plus ou moins nécessaires; quelques cas d'autohypnotisme, comme par exemple le cas où l'opérateur s'est endormi lui-même en voulant endormir son sujet, celui où une femme s'endormit en se mirant dans une glace, démontreraient que l'hypnotisme peut se produire même contre la volonté de l'hypnotisé.

L'état hypnotique présente une complexité de phénomènes variant suivant les procédés d'hypnotisation, suivant les sujets et quelquefois sur le même sujet suivant les dispositions du moment. On trouve cependant chez les hystériques un état hypnotique pour ainsi dire plus régulier et qui permet d'établir une sorte de classification des phénomènes qu'il présente. — C'est ainsi que M. le professeur Charcot a pu distinguer trois types bien tranchés qui sont : 1^o l'état cataleptique; 2^o l'état léthargique; 3^o l'état somnambulique.

Le trait le plus saillant de l'état *cataleptique*, dit M. Charcot, c'est, on peut le dire, l'immobilité. Le sujet cataleptisé, alors même qu'on l'a placé debout, dans une attitude forcée, se maintient en parfait équilibre et semble comme pétrifié. Les yeux sont ouverts, le regard fixe, la physionomie impassible. « Les membres n'offrant pas de résistance, on peut leur faire prendre des attitudes diverses qu'ils gardent ensuite très longtemps. En outre, les sens restent impressionnables, on peut suggérer au sujet des idées qui peuvent, à leur tour, déterminer des mouvements correspondant à ces idées.

Dans l'état *léthargique* le sujet a ses membres dans une résolution complète; il est inerte, les yeux sont convulsés, l'insensibilité parait absolue et la suggestion est impossible. Néanmoins si, au moyen d'un marteau ou d'une baguette, on percuté le tendon d'un muscle chez un léthargique, on voit bientôt ce muscle se contracter progressivement et simuler un violent tétanos partiel; cette contraction disparaît lorsqu'on percuté ou que l'on frictionne le muscle antagoniste. C'est là le phénomène auquel MM. Charcot et Richer ont donné le nom d'*hyperexcitabilité neuromusculaire*.

Dans l'état somnambulique les yeux peuvent être ouverts ou fermés; il existe une sorte de résolution musculaire; on peut, par des excitations très légères, comme le soufflé ou une barbe de plume promenée légèrement, produire une rigidité musculaire, mais qui ne disparaît pas lorsqu'on excite les muscles antagonistes, tandis qu'on peut la faire cesser par les mêmes moyens qui l'ont produite. L'insensibilité générale est la règle; mais les organes des sens ayant, au contraire, une sensibilité exagérée, on peut, par la suggestion, donner naissance à des phénomènes variés et remarquables.

Ces divers états de l'hypnotisme peuvent être chacun primitif ou secondaire, c'est-à-dire qu'on peut les produire directement chez l'individu à l'état de veille et par les moyens ordinaires, ou bien faire passer le sujet d'un état à l'autre au moyen de certaines excitations particulières. Ainsi un cataleptique chez lequel on vient à baisser les paupières, ou que l'on plonge dans l'obscurité, passe à l'état léthargique; un cataleptique ou un léthargique sur le vertex duquel on exerce une friction légère, peut passer à l'état somnambulique. Quel'on presse légèrement sur les paupières fermées d'un somnambulique, on le rend léthargique; qu'on lui ouvre au contraire les paupières, on le met en cataleptie.

D'après des expériences plus récentes, on a reconnu qu'on peut limiter les phénomènes hypnotiques d'une nature déterminée à un seul côté du corps; c'est ce que l'on a désigné sous le nom d'*hypnotose unilatérale* et d'*hypnotose bilatérale de caractère différent pour chaque côté*. M. Charcot a pu dédoubler un sujet hypnotisé de façon à produire un état cataleptique pour une moitié du corps (hémicataleptie) et un état léthargique pour l'autre moitié (hémiléthargie). — M. P. Richer, dans ses *Etudes cliniques sur l'hystéro-épilepsie* (1885), a rapporté des faits d'hémichéragie et d'hémisomnambulisme. — M. Dumontpallier a pu obtenir à la fois, sur le même sujet, deux formes d'hypnotisme, une susombilicale et l'autre sous-ombilicale.

Dans d'autres expériences, on a découvert tout un nouvel ordre de phénomènes en soumettant les hypnotiques à l'influence d'un aimant. Ainsi on peut transférer un état hypnotique d'un côté du corps à l'autre côté. Par exemple : un hypnotique étant en hémiléthargie droite et en hémicataleptie gauche, si on approche un aimant à quelques centimètres du côté droit on voit, au bout de deux minutes, ce côté devenir cataleptique, tandis que le côté gauche passe en même temps à l'état léthargique. C'est ce que l'on a appelé le phénomène du transfert.

Tout le monde peut-il être hypnotisé? — C'est là une question à laquelle il a été répondu d'une façon bien différente par les divers savants qui ont voulu établir une statistique à ce sujet. Depuis Dorand de Gros, qui trouvait 44 personnes réfractaires sur 45, jusqu'à Dr Liébaux qui n'en trouve que 27 absolument insensibles sur 1.011, on constate toutes les variantes. C'est, qu'en effet, il faut tenir compte d'une foule de circonstances, comme l'âge, le sexe, la profession, le degré intellectuel, certains états physiologiques ou pathologiques. D'une façon générale, on peut dire que, si l'on considère tous les degrés de l'hypnotisme depuis la simple somnolence jusqu'aux phénomènes les plus accentués, on trouve très peu d'individus qui soient absolument réfractaires. — En généralisant davantage la question, on peut dire que tous les animaux sont susceptibles d'être hypnotisés. La fascination exercée par les reptiles sur les oiseaux, par le chien sur le gibier, est bien connue. On peut rendre une poule cataleptique, on lui main-

tenant le bec sur une ligne droite tracée à la craie sur une planche. Les grands animaux, même les plus vicieux et les plus sauvages, ont paru subir l'action hypnotique, ainsi que paraît le démontrer la facilité avec laquelle certains dompteurs ont pu arriver à les dresser.

L'application de l'hypnotisme au traitement des maladies a préoccupé de tout temps les médecins qui se sont livrés à l'étude de cet ordre de phénomènes. Il est difficile de pouvoir dire aujourd'hui tout le parti qu'on pourra tirer de cette méthode thérapeutique, car, dans les observations publiées, il faut faire la part d'un engouement et d'une exagération souvent involontaires. C'est surtout dans les affections résultant de troubles dynamiques du système nerveux que l'hypnotisme paraît avoir joué un rôle hienfaisant. Certaines paralysies et contractures d'origine hystérique ont réellement cédé à l'emploi de l'hypnotisme; mais il faut attendre de nouvelles expériences pour pouvoir se prononcer sur la valeur réelle de ce moyen appliqué à la rage, au tétanos et même à l'épilepsie. — Dans la folie, où il pourrait rendre d'excellents services, l'hypnotisme n'a pu malheureusement être appliqué, à cause des difficultés presque insurmontables que l'on a rencontrées jusqu'à ce jour pour endormir les aliénés. — Employé pour obtenir l'insensibilité dans les opérations chirurgicales, l'hypnotisme paraît avoir donné quelques résultats; mais il est bien difficile de pouvoir en faire une méthode générale d'anesthésie, car, dans bien des cas, il sera impossible d'endormir les malades, trop préoccupés de leur opération prochaine pour s'abandonner à une action suggestive ou hypnotique.

Depuis les expériences du transfert par les aimants, on a pu espérer la guérison de certaines paralysies et contractures d'origine hystérique. Dès l'année 1879, MM. Charcot, Luys et Dumontpallier avaient découvert la possibilité de transférer momentanément sur un même sujet la sensibilité et la motilité du côté sain au côté malade. De nouvelles expériences faites en 1886 à la Salpêtrière ont démontré que le transfert peut s'opérer d'un sujet à un autre, même lorsque ces sujets sont placés à une certaine distance respective et séparés par un écran. On a pu ainsi transférer d'un hystérique à une autre des paralysies diverses, des contractures et un mutisme datant de trois ou quatre ans. Dès que l'on cesse l'action de l'aimant sur le sujet sain, les choses rentrent dans l'ordre, c'est-à-dire que, pour le dernier cas, par exemple, la muette redevient muette et l'autre sujet reprend l'usage de la parole qu'elle avait perdu pendant l'expérience. Le plus souvent, l'affection retirée momentanément à la malade persiste après l'expérience; néanmoins, on a pu constater une amélioration notable d'une contracture hystérique permanente du membre inférieur, après plusieurs séances consécutives du transfert opéré dans ces conditions.

Envisagée au point de vue de la médecine légale, la suggestion hypnotique peut soulever des problèmes très délicats et sur lesquels M. Liégeois, professeur à la Faculté de droit de Nancy, a attiré l'attention, dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences morales et politiques. Il est, en effet, hors de doute aujourd'hui, que les hypnotiques peuvent être, à leur insu, victimes d'actes contraires à l'honnêteté et à la morale, de même que, par la suggestion, ils peuvent devenir les instruments inconscients d'actes délictueux et même criminels. Il y a donc là une question de responsabilité qui s'imposera dans certains cas, mais qu'il sera souvent bien difficile de résoudre. (Dr X. PORTAFAX.)

HYSTÉRÉSIS. — Locution employée par un savant anglais, M. J. Ewing, pour désigner une propriété

spéciale du fer soumis à l'action d'une force magnétique variable. Cette propriété consiste dans ce fait, que l'aimantation d'un échantillon de fer donné n'est pas absolument déterminée par la valeur actuelle de la force magnétisante variable, mais dépend aussi du cycle parcouru, c'est-à-dire des actions magnétisantes dont il a précédemment subi les effets.

Ce phénomène est général dans le magnétisme. Maxwell, modifiant la théorie de Weber sur le magnétisme indell, avait indiqué des conséquences nombreuses vérifiées par l'expérience, et qui se rattachent à cette propriété.

Pour reconnaître et étudier ce phénomène, Rowland et Stoletow employaient la méthode suivante : ils soumettaient à l'action d'une hélice magnétisante une série d'anneaux de divers échantillons de fer, et mesuraient la variation totale du flux produite par le renversement du courant dans cette hélice. Ils en déduisaient, pour chaque valeur de la force magnétique, celle de l'induction ; et, à l'aide des formules connues qui relient ces quantités avec la PERMEABILITÉ, l'intensité d'aimantation et le coefficient d'aimantation induit, ils déterminaient la valeur de l'une quelconque de ces quantités en fonction des autres. Mais la méthode que nous venons d'indiquer présente l'inconvénient de ne pas permettre de suivre d'une façon continue le phénomène de l'aimantation, et par suite de ne pas faire passer le fer par un cycle magnétique.

C'est justement l'étude de ces cycles qui a amené M. Ewing à découvrir la propriété définie plus haut et qu'il a appelée hystérésis.

Il convient d'indiquer aussi les études très complètes qui ont été faites à ce sujet par M. Hopkinson. Ce savant se servait d'un circuit magnétique réalisant, au moins approximativement, la condition d'un flux uniforme. On trouvera le compte rendu de ces expériences dans les *Philosophical Transactions of the R. S.*, vol. 176, 2^e partie.

Les courbes obtenues par M. Hopkinson montrent que l'hystérésis joue un rôle considérable, que l'induction ne peut pas être considérée comme une fonction définie de la force magnétique, car elle dépend du sens de variation de cette force et du maximum de flux magnétique auquel l'échantillon a été soumis.

Ce phénomène introduit donc des complications sérieuses dans toutes les questions où l'aimantation variable du fer joue un rôle.

L'expression de force coercitive a toujours eu un sens assez vague ; ce serait la cause inconnue qui produit ce qu'on appelle le MAGNÉTISME RÉMANENT. M. Hopkinson a proposé de désigner sous ce dernier nom la force magnétique ramenant la substance à l'état neutre après l'application d'un flux magnétique intense.

HYSTÉROMÈTRE APOSTOLI. — (V. GALVANO-CAUTÈRE.)

IDIOÉLECTRIQUE (Corps). — Nom donné autrefois à tout corps susceptible de s'électriser par le frottement, et par suite ne possédant pas la propriété de transmettre l'électricité. (V. CONDUCTIBILITÉ.)

IDIOSTATIQUE (Mesure). — Nom sous lequel on désigne généralement la méthode de mesure directe des POTENTIELS au moyen de l'ÉLECTROMÈTRE absolu de Thomson. (V. MESURE.)

ILLUMINATION prolongée. — Phosphorescence qui se remarque dans les tubes de GEISSLER après la décharge électrique.

IMAGE ÉLECTRIQUE. — Image obtenue en projetant un mélange de soufre et de minium en poudre sur une plaque isolante reliée au sol, après avoir : 1° posé sur cette plaque une pièce métallique quelconque présentant des creux et des reliefs; 2° fait passer des décharges; 3° enlevé la pièce. Les parties correspondant aux reliefs retiennent le minium; celles correspondant aux creux retiennent le soufre. Si maintenant on supprime la communication de la plaque isolante avec le sol, si l'on intercale entre elle et l'objet métallique un disque conducteur mis, lui, en relation avec la terre, et si on fait passer des décharges, on peut obtenir une image de l'objet en soufflant de la vapeur au lieu de projeter le mélange des deux poudres. Cette vapeur se condense dans les parties correspondant aux reliefs. L'image prend le nom d'*image rorique*.

IMMERSION d'un câble. — (V. CÂBLE.)

IMPRESSION PAR L'ÉLECTRICITÉ. — Procédé imaginé par M. le Dr Boudet de Paris pour obtenir l'impression d'un dessin sur bois ou sur étoffe. Ce procédé repose sur un fait mis en évidence par une expérience réalisée jadis par Du Moncel et désignée par ce dernier sous le nom de *PLUVE DE FEU*. M. Boudet place au-dessus d'une lame de verre un cachet ou une médaille recouverte de plombagine et au-dessous une feuille d'étain. Il relie ces deux armatures aux pôles d'une MACHINE ÉLECTRO-STATIQUE, et après décharge obtient le dessin, d'une grande finesse, du cachet ou de la médaille. Cette image est évidemment le résultat du transport mécanique fait par le flux électrique. On peut interposer entre l'objet et le verre du bois ou de la toile, et l'image obtenue sur ces matières est tout aussi fine.

INCANDESCENCE (Lampe à). — On désigne ainsi des appareils producteurs de lumière électrique dans lesquels la lumière n'est pas fournie par un ARC VOLTAÏQUE, mais seulement par une élévation énorme de température résultant du passage du courant dans un conducteur infusible ou presque infusible.

On sait, en effet, qu'un conducteur métallique traversé par un COURANT d'intensité suffisante devient in-

candescent et finit par fondre. On a donc dû chercher, pour utiliser cette propriété du courant en vue de l'éclairage, des substances suffisamment conductrices et en même temps infusibles. Le charbon seul remplit cette condition; mais, comme il est combustible, on a combattu les effets de la combustion par un mode de réglage spécial, ou on l'a empêchée en opérant dans le vide; de là deux catégories de lampes à incandescence :

- 1° Les lampes à incandescence dans l'air;
- 2° Les lampes à incandescence dans le vide.

1° Lampes à incandescence dans l'air. — Ces lampes ont été imaginées en France par M. Reynier (1878) et en Angleterre par M. Wer-

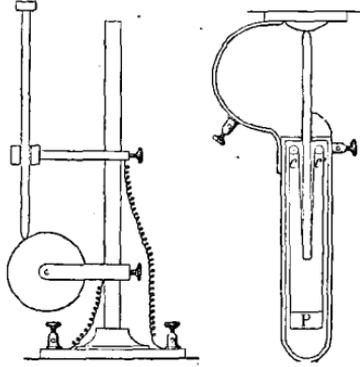


Fig. 1.
Lampo Reynier.

Fig. 2.
Lampe Wördermann.

dermann vers la même époque. La lampe Reynier se compose d'une mince baguette de charbon placée verticalement et venant appuyer par son extrémité sur un bloc de charbon; le courant pénétrant dans la baguette près de son extrémité inférieure par un contact latéral et sortant par le bloc, la pointe de cette baguette devenait incandescente et se consumait lentement. Mais, comme les centres en s'accumulant au point de contact des deux charbons formaient écran, M. Reynier a modifié cette première disposition. Il a remplacé le bloc de charbon immobile par un disque de même substance. Sa baguette s'y appuie excentriquement, et en s'usant elle détermine la rotation lente du disque, de sorte que les centres tombent au fur et à mesure de leur production (fig. 1).

La lampe Wördermann se compose d'un bloc de charbon placé au-dessus d'une baguette; cette ba-

guelle, sollicitée par un contrepoids ou par un ressort, vient au contact du bloc, et les cendres tombent d'elles-mêmes (fig. 3). Pour obtenir de bons résultats, il faut des baguettes de charbon très denses et aussi peu combustibles que possible; dans ces conditions la lampe devient pratique au point de vue de la durée.

Ces deux sortes de lampes ne sont pas, jusqu'à présent, couramment en usage.

La lampe Werdermann a été modifiée et considérablement améliorée par M. Napoli. Celui-ci est revenu au type Reyrier, en remplaçant le disque mobile par un simple bûlot en cuivre d'assez fort diamètre pour ne pas s'échauffer sensiblement. L'emploi de charbons de bonne qualité et ne donnant pas de cendres permet d'éviter l'inconvénient auquel avait voulu parer M. Reyrier.

2° Lampes à incandescence dans le vide. — L'idée de produire de la lumière électrique dans un espace vide d'air est déjà ancienne.

En 1844, M. Moleyns prit un brevet où il mentionne l'idée d'une *lumière réglée* produite par le passage du courant électrique à travers un conducteur de nature quelconque renfermé dans un globe de verre privé d'air.

En 1845, Thomas Wrigh inventa un premier dispositif de lampe, et Starr de Cincinnati vint avec Knig en Angleterre faire l'essai de deux types de lampes à incandescence dans le vide; dans l'un la matière incandescente était une feuille de platine; dans l'autre, c'était une plaque de charbon.

Stalle, reprenant l'idée de Starr, proposa une lampe à incandescence dans laquelle le platine était remplacé par un fil d'iridium courbé en forme de *fer à cheval*. Comme ce métal est cher, Stalle songea à l'emploi du charbon et indiqua une méthode pour préparer le *noir de charbon* qui devait servir de conducteur au courant et constituer la partie incandescente.

Le Dr Dehaut prit aussi, en 1845, un brevet pour plusieurs modèles de lampes destinées à résoudre le problème de l'éclairage électrique domestique.

Tels étaient les travaux relatifs à l'éclairage par incandescence lorsque M. de Changy commença, en Belgique, des expériences qui méritent d'être signalées et étudiées. Il est prouvé qu'en 1858 il avait construit et fait fonctionner une lampe à incandescence presque identique à celle employée dans l'industrie.

Après M. de Changy, de nombreuses tentatives furent faites dans la même voie par les électriciens russes de Lodyguine, Konn, Boulligine, Jablockhoff.

La lampe de M. de Lodyguine était composée d'une baguette de charbon maintenue entre deux blocs qui lui amenaient le courant; mais elle ne donna pas de bons résultats, parce que le vide produit dans cette lampe n'était pas assez parfait et que, d'autre part, la cohésion de la baguette de charbon n'était pas suffisante.

Les lampes à incandescence dans le vide qui ont figuré pour la première fois à l'Exposition d'électricité de Paris en 1881 et qui sont actuellement employées se composent essentiellement d'un **FILAMENT** de charbon très mince et cependant solide, situé à l'intérieur d'une ampoule de verre dans laquelle on a fait le vide le plus parfait possible (fig. 3). Lorsqu'on fait passer un courant d'une intensité suffisante à travers ce filament, il arrive à la température du rouge blanc et forme un foyer de lumière parfaitement fixe et agréable à la vue. Comme ce filament est placé dans le vide, il ne peut brûler et ne s'use

qu'à la longue par la désagrégation de ses particules. La fabrication de ces lampes, très défectueuse au début, a été perfectionnée depuis et on en trouve maintenant qui résistent à 900 et 1.000 heures d'éclairage.

Nous ne discuterons pas ici la question de priorité, qui est fort controversée et difficile à résoudre, et nous donnerons simplement la description des divers im-

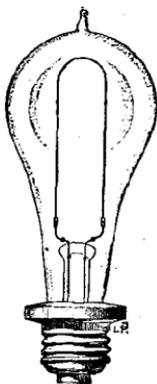


Fig. 3. — Lampe Edison à incandescence.

odèles de lampes en usage. Ces modèles présentent entre eux une grande analogie; ils ont même forme extérieure, celle d'une ampoule en verre contenant un filament de charbon recourbé; ils ne diffèrent que par la nature et la forme du filament de charbon et par quelques détails de montage.

Les lampes à incandescence se fabriquent toujours à peu près de la même manière, aussi nous ne décrirons la méthode employée que pour un seul système, le système Edison. Nous nous bornerons, pour les autres, à indiquer les particularités qui les différencient du premier.

a) Lampes Edison. — Le filament de charbon employé par Edison est fait avec du bambou du Japon.

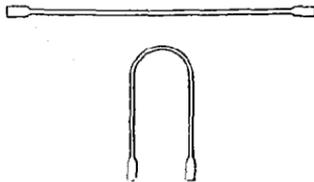


Fig. 4.

Le bambou, débité en rubans d'épaisseur convenable, est découpé à l'emporte-pièce en brins de 0,003 de largeur et 0,20 de longueur, dont les extrémités sont conservées plus larges afin de servir de base d'attache (fig. 4). Chaque brin est recourbé en fer

à cheval et placé dans un moule en nickel; le moule est ensuite fermé et mis dans un four au milieu d'une atmosphère réductrice. Quand le degré de carbonisation est obtenu, on fixe à chaque extrémité du fila-

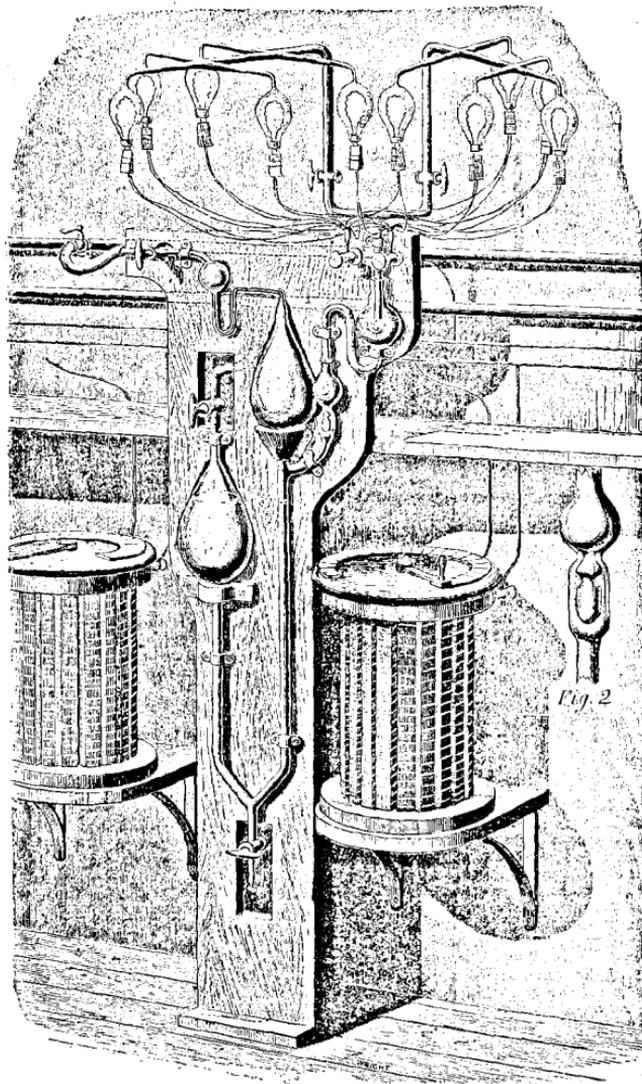


Fig. 5. — Pompe à faire le vide.

ment un fil de platine, façonné en forme de pince ; en verre, dont on ferme une extrémité, celle voisine puis on introduit les deux fils de platine dans un tube du flament de charbon. Pour rendre plus intime le

contact des extrémités du filament et des fils de platine, on les soude l'un à l'autre par un dépôt électrolytique de cuivre pur.

On introduit ensuite le filament dans une capsule en verre, qu'on soude au tube de verre; on fait le vide dans l'ampoule avec une pompe à mercure de Sprengel.

Nous donnons, d'après *l'Engineering* (traduction publiée par la *Revue industrielle*), la description et la vue d'une pompe à faire le vide analogue à la pompe Sprengel et employée en Amérique pour la fabrication de la lampe Weston, décrite ci-après.

Cet appareil se compose, comme le montre la fig. 5, d'un tube en U à branches inégales terminées chacune par un renflement. Celui qui est du côté de la branche la plus longue sert de chambre de vide et l'autre sert de réservoir à mercure. Au-dessous de la chambre de vide est branché un tube muni d'une soupape ou bouchon flottant, qui est représenté à plus grande échelle à droite de la fig. 5, sous la désignation fig. 2. Ce tube se prolonge par un tube en S qui aboutit au fond d'un ballon d'oxyhydrate phosphorique. Le col de ce ballon est pourvu d'un ou plusieurs branchements aboutissant aux lampes où il faut faire le vide. L'extrémité inférieure du tube en U est pourvue d'un robinet qui sert quand on veut introduire du mercure dans l'appareil ou pour le vider au besoin. Le ballon qui fait fonction de réservoir de mercure se prolonge par un tube capillaire en U, lequel est relié à une conduite dont nous ferons connaître plus loin l'utilité. On fait le vide dans les lampes, non pas directement avec cet appareil, mais à l'aide d'une pompe auxiliaire qui commande à la fois plusieurs appareils semblables à celui qui vient d'être décrit et qui sont réunis entre eux par la canalisation qui passe derrière la planchette. Les lampes étant mises en place et les joints étant faits avec soin, on met le ballon supérieur en communication avec la pompe centrale, tandis qu'on laisse la pression atmosphérique s'exercer sur la surface du mercure contenu dans la branche de gauche. Aussitôt le niveau du mercure baisse de ce côté et monte dans la branche opposée. Quand la chambre à vide est remplie de mercure, on ferme la communication avec la pompe centrale et, par une manœuvre des robinets, on fait le vide dans le ballon de gauche; le mercure remonte de ce côté tandis que l'air qui remplissait les lampes se répand dans la chambre de vide. On recommence alors la première manœuvre, c'est-à-dire qu'on laisse la pression atmosphérique s'exercer dans le ballon de gauche et qu'on met celui de droite en communication avec la pompe; le mercure remonte à droite, et tout l'air venu des ballons et qui remplissait la chambre de vide, est épuisé par la pompe centrale. On recommence enfin la seconde manœuvre, pour faire remonter le mercure à gauche tandis que l'air qui reste encore dans les lampes se dégage de nouveau dans la chambre de vide. Par une série de manœuvres semblables on peut obtenir un vide aussi parfait qu'on le désire. La vapeur d'eau contenue dans les lampes ou mélangée à l'air atmosphérique est absorbée par des tubes de dessiccation, de sorte que la pompe n'aspire jamais que de l'air parfaitement sec.

Il faut de une heure et demie à une heure trois quarts pour faire le vide dans une lampe.

Quand l'opération touche à sa fin, on fait passer un courant dans le filament; celui-ci s'échauffe rapidement et abandonne les gaz qu'il contenait. Quand tous les gaz ont été chassés et que le vide est complètement obtenu, on soude le tube à sa partie inférieure; on l'introduit dans une gaine filetée en laiton et on

l'y fixe en y coulant du plâtre. Les fils de platine sont reliés à deux parties isolées de la monture, par lesquelles se fera la communication électrique (v. fig. 3).

b) *Lampe Swan*. — Cette lampe est de forme globulaire avec col allongé. Le filament de charbon est préparé avec du fil de coton préalablement parcheminé par l'action de l'acide sulfurique concentré. Les extrémités de ce filament sont beaucoup plus grosses, et le fil lui-même forme une boucle au sommet. Dans les anciennes lampes le charbon avait une section circulaire, mais dans les modèles récents cette section se trouve aplatie. Les bouts sont emboltés dans une paire de supports en métal retenus latéralement par une lampe de verre qui s'élève dans le col jusqu'à la naissance du globe. Ces supports sont fixés par-dessous aux fils de platine qui traversent le verre.

c) *Lampe Maxim*. — La lampe Maxim est également globulaire, mais son col est court. Une tige creuse en verre, qui s'élève dans ce col, est coiffée d'une chape d'émail bleu au travers duquel passent les fils de platine qui soutiennent le charbon. Le filament est préparé avec du carton découpé par un poinçon, sous la forme d'un M. Il résulte de ce procédé que la section transversale est rectangulaire; sa largeur est plus que double de l'épaisseur. On carbonise le filament dans un moule traversé par un courant de gaz d'éclairage. Après cette carbonisation le filament est placé dans une atmosphère diluée de vapeur d'hydrocarbure (*gazoline*) et chauffé par un courant électrique. La vapeur est décomposée, et son carbone se précipite sur le filament. De cette manière on corrige non seulement les inégalités de ce filament, mais on rend sa résistance plus uniforme, et l'on peut même la modifier à volonté.

d) *Lampe Lane-Fox*. — La lampe Lane-Fox est de forme ovoïde, avec une longueur de col comprise entre celles des deux précédentes. Le charbon à une section circulaire, et son contour est celui d'un fer à cheval. Il est préparé avec la racine de chiendent. Après leur carbonisation les filaments sont classés d'après leur résistance, puis chauffés dans une atmosphère de gaz de houille qui donne lieu à un dépôt de charbon analogue à celui dont il a été parlé dans la description précédente. Les extrémités du filament passent dans deux douilles qui embrassent également les fils de platine auxquels ses deux extrémités sont retenues par une douille de charbon. Ceux-ci descendent, le long du col, dans des tubes enlissés dans un bouchon de verre. Immédiatement au-dessous des extrémités de ces tubes se trouvent deux ampoules contenant du mercure pour établir le contact entre les fils de platine soudés au verre à la partie supérieure et les conducteurs de cuivre qui y pénètrent par-dessous. Ces conducteurs sont maintenus en place par du plâtre qui remplit la base de la lampe.

Les descriptions de lampes qui précèdent sont extraites du rapport du jury de l'Exposition internationale d'électricité de Paris en 1881.

e) *Lampe Weston*. — La lampe Weston est de forme ovoïde (fig. 6). Le filament est obtenu avec une sorte de cellulose appelée *tamidine* par M. Weston. Cette cellulose se fabrique en traitant du coton par un mélange d'acides azotique et sulfurique qui le transforme en fulmicoton.

Ce dernier est ensuite dissous dans un mélange d'alcool et d'éther. On laisse évaporer le dissolvant jusqu'à ce que l'on obtienne une masse de consistance gélatineuse dans laquelle on découpe les lames. Ces

lames sont traitées par l'ammoniaque, qui, en se combinant avec l'acide azotique, laisse en liberté la cellulose pure. Il ne reste plus qu'à la découper et à la carboniser.

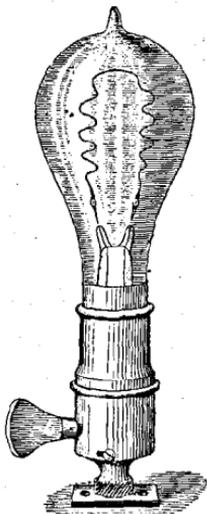


Fig. 6. — Lampe Weston.

l'incandescence pure. Il ne reste plus qu'à la découper et à la carboniser.

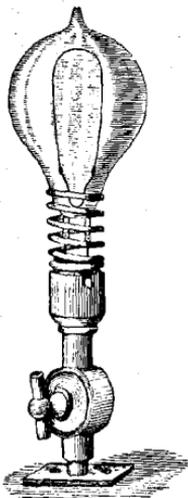


Fig. 7. — Lampe Woodhouse et Rawson.

1) Lampe Woodhouse et Rawson. — Cette lampe (fig. 7) a une forme sphérique. Le charbon, d'une sec-

tion transversale rectangulaire, est cimenté à deux fils de platine séparés par un pont en verre; ils se terminent par deux petites boucles qui entrent dans le verre. Deux crochets à ressort dans le pied prennent ces boucles et établissent le contact.

g) Lampe Stanley-Thompson. — Les charbons de

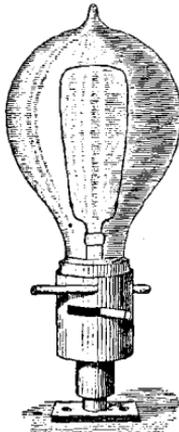


Fig. 8. — Lampe Stanley-Thompson.

cette lampe (fig. 8) paraissent être faits avec du fil. Le seul renseignement fourni au comité du Franklin Institute, qui l'a essayée en 1885, était que ces lampes avaient été « construites suivant le brevet Stanley-Thompson ». Le charbon des lampes présentées était

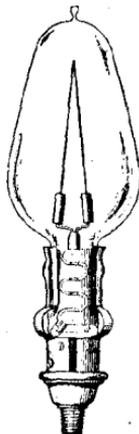


Fig. 9. — Lampe Gérard.

cimenté à des fils de platine séparés par un pont en verre. Le globe était monté sur un pied creux en

bois et maintenu d'une manière très insuffisante au moyen d'un ciment qui ressemblait à du plâtre. Ces fils aboutissaient à deux petites vis, après avoir traversé le bois.

A) **Lampe Gérard.** — Le filament de cette lampe est du coke de cornue purifié et aggloméré avec du brai et passé ensuite à la filière (fig. 9).

1) **Lampe Gruto.** — Pour préparer le filament on place un fil de platine dans la vapeur d'un carbure d'hydrogène; le fil de platine est ensuite traversé par un courant d'intensité suffisante pour le porter au rouge. A cette température le carbure se dissocie et du charbon se dépose sur le fil de platine. Ce dernier est volatilisé par un courant plus intense et il ne reste que du charbon.

2) **Lampe Bernstein,** de Boston. — Le filament d'une lampe à incandescence, traversé par un courant d'intensité déterminée, sera porté à une température d'autant plus grande et par suite donnera un éclat d'autant plus vif que sa résistance sera plus grande et que sa section sera plus petite. Mais à section égale l'éclairement sera d'autant plus considérable que la surface du filament sera plus grande. C'est pour augmenter l'éclairement que Maxim a donné une section très aplatie au filament de sa lampe et l'a recourbé en forme de M. C'est pour arriver au même résultat que M. Bernstein a composé sa lampe avec un filament tubulaire. Ce filament est formé d'un tube de soie tissée; ce tube est placé dans un lit de graphite pulvérisé, puis il est carbonisé.

On a construit des lampes à incandescence donnant depuis 1 bougie jusqu'à 50 bougies et plus. Mais les deux types les plus répandus aujourd'hui sont les lampes de 8 à 10 bougies et les lampes de 16 à 20 bougies.

3) **Lampe Lodyguine.** — Un ingénieur russe, M. de Lodyguine, a présenté dans le courant de l'année 1888, à la Société de Physique, à Paris, des lampes à incandescence obtenues par des procédés nouveaux, et dont les intensités lumineuses s'échelonnaient suivant une série de types variant depuis 10 jusqu'à 400 bougies.

Il paraît que ces lampes à incandescence arrivent à dépasser comme rendement lumineux celui de l'arc voltaïque lui-même. Avec les petites lampes on obtiendrait 400 bougies par force de cheval électrique, avec les grosses jusqu'à 800 bougies, et des essais pratiques auraient démontré que les nouvelles lampes peuvent avoir une durée de 800 heures en service courant.

Le procédé employé par M. de Lodyguine pour transformer en coke la matière organique qui compose le filament consiste à faire agir sur cette matière une substance extrêmement avide d'eau, le fluorure de bore. Le coke ainsi obtenu, étant relativement trop poreux, est calciné à l'abri de l'air et traité ensuite par du sirop de sucre ou de glucose, puis de nouveau au fluorure de bore. Ces opérations sont renouvelées jusqu'à ce que l'on atteigne la densité voulue.

Le filament produit est doué d'une résistance à l'usure beaucoup plus grande et peut supporter sans se rompre, et pendant très longtemps, des courants de haute intensité qui détruiraient rapidement les côtes ordinaires.

Les différentes salles dans lesquelles s'est tenue la réunion annuelle de la Société française de Physique en 1886 étaient éclairées par 145 lampes Lodyguine savoir : 24 lampes de 10 bougies, 106 lampes de 20 bougies, 3 lampes de 30 bougies, 4 lampes de

50 bougies et 8 lampes de 400 bougies, donnant une intensité totale de 5.850 bougies.

Les machines électriques Charletemps et Co servant à cet éclairage étaient de trois types, le premier donnant un courant de 30 AMPÈRES et 60 VOLTS, le second un courant de 40 ampères et 60 volts, et le troisième un courant de 70 ampères et 60 volts.

Derniers essais. — Dans ces derniers temps on a entrepris des recherches ayant pour but d'accroître le pouvoir éclairant des lampes à incandescence. On peut y arriver soit en donnant au filament une grande surface lumineuse, autrement dit, en augmentant sa longueur, soit en élevant la température; mais alors, dans les deux cas, on diminue la durée de la lampe.

M. Thofehn a proposé, pour remédier à ce dernier inconvénient, de modifier la méthode de fabrication employée jusqu'ici. Au lieu de prendre seulement du charbon, il combine une substance mauvaise conductrice avec un corps qui la recouvre ou l'imprègne.

Les essais ont, paraît-il, donné de bons résultats. Il y a là une idée ingénieuse qui peut être susceptible d'avoir.

Nous devons encore mentionner :

1° **Le filament White et Co,** de New-York. Il est carbonisé d'abord au feu, imbibé d'éthylate d'alumine, puis porté à l'incandescence dans le vide par un courant électrique; il se recouvre alors d'un caoutchouc élastique et résistant de charbon et d'alumine. La même Compagnie emploie aussi un filament formé en passant à la filière, sous pression énergique, une pâte de charbon en poudre d'alumine et de dextrine agglutinante.

2° **Le filament G. Swinburne,** destiné aux lampes à haute tension. Ce filament est enroulé plusieurs fois de façon à former des boucles offrant l'aspect de cadres rectangulaires à coins arrondis; ses deux extrémités sont soudées aux électrodes et les parties inférieures de chaque boucle sont maintenues par des crochets en platine.

3° **Le filament R. Dick et Kennedy,** gros, court et cependant très résistant (de 20 à 60 ohms par centimètre de longueur), formé d'une fibre végétale enfilée dans un tube de cuivre; on passe ce tube à la filière, ce qui comprime fortement la fibre; puis on coupe le cuivre à la longueur voulue, on lui donne la forme que doit avoir le filament et on catène à l'abri de l'air. D'après les auteurs, cette calcination sous pression donne un filament parfaitement homogène. Quant à l'enveloppe de cuivre, on s'en débarrasse en plongeant l'ensemble dans une solution ammoniacale qui dissout le métal en présence de l'air.

Moyens d'essayer le vide d'une lampe à incandescence. — Une condition essentielle pour la durée d'une lampe à incandescence dans le vide, c'est que l'ampoule de verre qui renferme le filament soit complètement purgée d'air. Il est donc intéressant de pouvoir s'assurer que cette condition est bien remplie. Le général Webber a indiqué les moyens suivants pour essayer le vide d'une lampe à incandescence. On peut tenir la lampe d'une main et rattacher ses bornes ou fils de communication aux pôles d'une bonne PILE D'INDUCTION à potentiel élevé. Si le vide est mauvais il se produira une incandescence visible dans le globe; s'il est parfait, l'incandescence diminue de manière à devenir presque invisible. On peut faire un canal plus élémentaire en fermant hermétiquement la lampe, à

laquelle on laisse un petit morceau du tube ayant servi à faire le vide; on coupe ou brise ensuite le bout du tube dans une cuve à mercure : s'il y a de l'air, sa présence sera indiquée par une bulle qui se formera dès que le mercure sera monté dans le globe. Les consommateurs de lampes à incandescence peuvent encore faire un essai approximatif, en observant la présence d'une lueur quand ils frottent la lampe dans l'obscurité avec une peau de chat, ou bien simplement avec la main. Un vide imparfait se révèle aussi par le trop grand échauffement de la lampe après une ou deux heures de fonctionnement. (Society of Arts.)

Constantes des lampes à incandescence. — Les différents modèles de lampes que nous avons décrits se distinguent les uns des autres non seulement par la nature, la forme et les dimensions de leurs filaments, mais aussi par les constantes du courant nécessaire à leur fonctionnement normal. Les unes fonctionnent à un potentiel relativement élevé (100 volts et plus) et à faible intensité; les autres fonctionnent à un potentiel relativement faible et à forte intensité. Les lampes Edison de 20 bougies sont dans le premier cas; leurs constantes sont E = 100 volts et I = 0,75 ampère. Les lampes Bernsteïn sont dans le second cas; il existe un type de ces lampes ayant pour constantes E = 7 volts, I = 9,75 ampères.

Les premières sont d'un emploi plus avantageux quand on les monte en dérivation. Les lampes Bernsteïn de 9,75 ampères ne peuvent être disposées économiquement qu'en série. Or, un tel groupement

n'est guère pratique pour un éclairage par incandescence, car la rupture d'une seule lampe produit l'ouverture du circuit de distribution et par suite l'extinction de toutes les lampes alimentées. Pour parer à cet inconvénient il faut placer à chaque lampe un COMMUTATEUR automatique spécial actionné par un courant dérivé pris aux bornes de la lampe et fermant le circuit de distribution dès qu'il a été ouvert par la rupture du filament d'une lampe. L'appareil imaginé par M. Bernsteïn est assez compliqué, et nous ne connaissons aucune application importante d'un groupement en série des lampes à incandescence offrant des garanties complètes de sécurité. L'importance d'une telle disposition est cependant considérable, car elle permettrait l'alimentation des lampes à incandescence par des machines de haut potentiel, dont l'emploi peut seul rendre pratique l'alimentation à grande distance de lampes à incandescence.

On possède de nombreux résultats d'essais sur le rendement des lampes à incandescence et sur le travail mécanique qu'elles absorbent; nous ne pouvons, dans le cadre de cet ouvrage, discuter tous les résultats obtenus; nous nous bornerons à reproduire les conclusions des rapports qui nous ont paru les plus intéressants.

1° Conclusions de la commission spéciale de l'Exposition d'électricité de 1884. — Cette commission a examiné les lampes Edison, Swan, Maxim et Lane-Fox, décrites plus haut.

Le tableau ci-dessous donne les constantes de ces diverses lampes :

	LAMPES			
	EDISON.	SWAN.	MAXIM.	LANE-FOX.
Ohms.	130	31	43	28
Volts.	91	48	75	50
Ampères.	0,70	1,47	1,74	1,77
Kilogrammètres.	6,50	7,96	13,28	6,93
Intensité lumineuse moyenne sphérique en carrels.	1,57	1,16	2,80	1,64
Carrel par cheval d'arc.	13,12	12,92	15,89	13,74

La Commission résumait dans ces termes les avantages et les inconvénients des lampes soumises à son examen :

« Le maximum de rendement des lampes à incandescence dans l'état actuel de la question et dans les circonstances les plus favorables ne dépasse pas 300 bougies par cheval de courant électrique ;

« L'économie de toutes les lampes de cette espèce est plus grande à haute qu'à faible incandescence ;

« L'économie dans la production de la lumière est plus grande dans les lampes à grande résistance que dans celles à faible résistance, ce qui est d'accord avec les conditions les plus économiques de l'établissement de la distribution ;

« Entre les quatre lampes examinées, la lampe Edison tient le premier rang et la lampe Maxim le dernier, tant à 16 qu'à 32 bougies. La lampe Swan à 16 bougies est un peu plus favorable que la lampe Lane-Fox, mais l'inverse a lieu pour l'intensité de 32 bougies. »

Le rapport conclut ainsi :

« D'une manière générale et pour l'intensité moyenne sphérique de 1,20 carrel qui est tout à fait pratique, on ne peut compter que sur un éclairage effectif de 12 à 13 carrels par cheval d'arc ou environ 10 carrels par cheval de travail mécanique au moyen des lampes à incandescence. »

(On appelle *cheval d'arc* un travail électrique de 75 kilogrammètres par seconde, généralement calculé d'après les intensités, les résistances et les forces ELECTROMOTRICES.)

2° Résultats des essais faits en 1885 à l'Exposition internationale d'électricité de Philadelphie. — Une commission spéciale fut chargée de soumettre diverses lampes à incandescence à des essais électriques et photométriques suivant une méthode dont on trouvera la description au mot *mesure*.

Ces essais avaient pour but de déterminer non seulement le rendement, mais aussi la durée ou la vie des lampes; on avait déjà reconnu que les

essais concernant exclusivement le rendement ne suffisaient pas pour déterminer la valeur relative des

lampes à incandescence au point de vue économique. On obtint les résultats moyens suivants :

LAMPES	INTENSITÉ par bougie sphérique.	DIFFÉRENCE de potentiel en volts.	INTENSITÉ en ampères.
Edison	45,40	97,90	0,709
Stanley	43,56	96,40	0,551
Woodhouse et Rawson	45,99	85,48	1,026
White (analogues aux précédentes).	42,44	49,99	1,017
Weston	16,27	414,40	0,530

(On trouvera la traduction *in extenso* du rapport sur ces essais organisés par le Franklin Institute, dans la *Lumière électrique*, tome XVIII, année 1885.)

Relation existant entre l'intensité du courant et le pouvoir éclairant des lampes à incandescence. — Le général Webber a fait des essais intéressants avec des lampes

à incandescence provenant de différents fabricants, et il a communiqué, en 1887, le résultat de ces essais à la *Society of Arts*. Les chiffres qui suivent sont des moyennes de plusieurs expériences. Le tableau indique l'intensité du courant et la puissance lumineuse moyennes de deux lampes de 100 volts et de 17 bougies. Les mesures ont été faites toutes les 100 heures.

	INTENSITÉ du courant en ampères.	PUISSANCE lumineuse en bougies.
Primitif	0,65	
Après 100 heures	0,65	18,5 (3,4 watts par bougie.)
— 200 —	0,65	20,7 —
— 300 —	0,65	18,5 —
— 400 —	0,65	18,5 —
— 500 —	0,65	18,5 —
— 600 —	0,65	18,0 —
— 700 —	0,65	17,5 —
— 800 —	0,65	15,5 —
— 900 —	0,64	15,2 —
— 1.000 —	0,64	15,2 —
— 1.100 —	0,64	15,2 —
— 1.200 —	0,64	15,2 —
— 1.300 —	0,64	15,2 —
— 1.400 —	0,64	15,2 —
— 1.500 —	0,63	13,7 —
— 1.600 —	0,63	12,7 (5 watts par bougie.)

La résistance du filament diminue pendant les 200 premières heures, et son éclat augmente en proportion. Il ne se produit guère de changement pendant les 500 heures suivantes, après quoi la résistance augmente et l'éclat diminue progressivement. Avec le temps, la surface lisse du filament devient rude et augmente, demande plus de courant, tandis que ce dernier est réduit par suite de l'augmentation de la résistance. La lumière est aussi diminuée par suite de la volatilisation du charbon du filament qui se dépose sur le verre. Les vieilles lampes donnent ainsi lieu à une perte sérieuse de lumière.

Chaleur développée par les lampes à incandescence. — M. Peukert a étudié, en 1885, comment se fait la répartition du travail électrique en chaleur lumineuse et en chaleur obscure dans la production de l'arc voltaïque, au moyen de lampes à incandescence dans le vide, qui se prêtent le mieux

du monde à des observations rigoureuses. Les expériences ont été exécutées au laboratoire d'électricité de l'École technique supérieure de Hanovre. En voici le compte rendu :

La détermination de la chaleur rayonnée par la lampe à incandescence était faite au moyen d'un calorimètre, rempli chaque fois d'une quantité d'eau soigneusement pesée. La lampe était plongée dans l'eau, dont un agitateur maintenait la température uniforme dans la masse. Un thermomètre gradué en dixièmes de degré centigrade indiquait les moindres variations d'échauffement; les pertes par conductibilité ou rayonnement étaient à peu près annulées en plaçant le calorimètre sur un support isolateur, et maintenant une faible différence de température entre le liquide et l'air ambiant.

Pour connaître l'absorption de lumière due au liquide, on examinait au photomètre la lampe placée successivement dans l'air et dans l'eau, en se servant

de l'étalon de Hefner Alteneck. Le courant était fourni par une machine Gramme, modèle Schuckert, conduite par un moteur à gaz Otto bien réglé, de manière à maintenir constante aux bornes de la lampe la différence de potentiel mesurée avec un GALVANOMÈTRE de Siemens et Halske. D'autre part, on appréciait l'intensité du courant par ce dernier appareil combiné avec l'emploi d'une résistance exactement connue.

Voici les résultats relevés au cours de ces expériences :

Lampe à incandescence Siemens et Halske. — Différence de potentiel 98 volts; intensité du courant 0,534 ampère. Le calorimètre contenait 2,471 grammes d'eau et le vase converti en eau équivalait à 79,1 grammes, soit en tout 2,550,1 grammes. Les observations, faites de trois en trois minutes pendant un quart d'heure, ont donné une élévation moyenne de température de 0,7, ce qui correspond à un rayonnement calorifique de 33,7 calories par heure. Le pouvoir éclairant de la lampe, à l'air, était de 8,8 bougies, et, dans le calorimètre, de 8,1 bougies.

Lampe à incandescence Edison. — Différence de potentiel 93,6 volts; intensité du courant 0,963 ampère. Eau totale du calorimètre 2,791,1 grammes.

Les observations faites toutes les cinq minutes pendant une demi-heure ont donné comme élévation moyenne de température 1,63, ce qui correspond à un rayonnement calorifique de 33,26 calories par heure. Le pouvoir éclairant de la lampe était de 16,9 bougies à l'air et de 14,4 bougies dans le calorimètre.

Lampe à incandescence Swan. — Différence de potentiel 76 volts; intensité du courant 2,55 ampères. Eau totale du calorimètre 2,435,1 grammes. Observations toutes les deux minutes pendant vingt minutes; élévation moyenne de température 1,7, ce qui correspond à un rayonnement calorifique de 42,19 calories. Le pouvoir éclairant de la lampe était de 30 bougies à l'air, et de 28,2 bougies dans le calorimètre.

Nous n'indiquons pas les essais faits avec la lampe Bernstein, dont la construction même ne permettait pas l'immersion complète dans le calorimètre.

L'énergie électrique absorbée par une lampe à incandescence est convertie uniquement en chaleur et en lumière. On peut donc savoir avec une approximation bien suffisante la proportion du travail électrique total qui correspond au phénomène lumineux. L'expérience suivante justifie dans une certaine mesure ce raisonnement: On a placé dans le calorimètre une lampe Edison munie d'une enveloppe en cuivre mince, de manière à observer l'effet total du double phénomène lumineux et calorifique, et on a trouvé une quantité de chaleur qui différait de 2%, seulement du résultat prévu par le calcul. Si l'on exprime en calories le travail du courant (1), on arrive aux conclusions suivantes, relativement à la quantité de chaleur, personnelle, en quelque sorte, au phénomène lumineux.

I. Lampe Siemens et Halske.

Travail total du courant par heure 46,93 calories.
Dont, pour le phénomène lumineux 11,28 —

II. Lampe Edison.

Travail total du courant par heure 78,01 calories.
Dont, pour le phénomène lumineux 22,75 —

(1) D'après l'expression $\frac{e^2 i}{4\pi r^2}$, dans laquelle e est le nombre de volts, i le nombre d'ampères, $4\pi r^2$ l'équivalent mécanique de la chaleur, et g l'accélération de la pesanteur.

III. Lampe Swan.

Travail total du courant par heure 467,86 calories.
Dont, pour le phénomène lumineux 43,67 —

Si l'on rapporte ces chiffres à la bougie prise pour unité, on a respectivement 1,39 calorif pour 1, 4,53 calorif pour II, et 1,55 calorif pour III. D'autre part, en transformant les calories en kilogrammètres par seconde, on voit que l'équivalent mécanique de la lumière, en admettant qu'on puisse s'exprimer ainsi, est de 0,16 kilogrammètre (Siemens et Halske) et de 0,18 kilogrammètre (Edison et Swan). Il ne faut pas voir dans ces derniers résultats autre chose qu'un curieux rapprochement: on ignore absolument les relations qui peuvent exister entre les phénomènes mécaniques et les phénomènes lumineux.

Nous avons insisté un peu longuement sur ces recherches, parce qu'elles se rattachent aux idées de la commission anglaise chargée de l'étude d'un étalon lumineux et composé des plus illustres savants de ce pays. Le rapport récemment présenté par le professeur Forbes, au nom de ses collègues, indique la voie suivante pour arriver à l'établissement d'une unité absolue de pouvoir éclairant:

La radiation, c'est-à-dire l'ensemble de la manifestation lumineuse et calorifique, se mesure facilement dans une lampe électrique à incandescence, comme expression du rendement; elle peut, par suite, être évaluée en watts. Quant à l'effet lumineux (*illumination*), il varie suivant l'observateur et est une certaine fonction de la radiation ou des longueurs d'onde qui composent la radiation. S'il n'est pas possible d'exprimer directement ou mesurer absolument l'effet lumineux, il existe entre la radiation et lui une relation dont des expériences nombreuses permettront d'obtenir une valeur moyenne. Les mesures électriques du courant, d'une part, indiqueront la quantité d'énergie absorbée; d'autre part, une PILE TRIENNO-ÉLECTRIQUE donnera la valeur de la radiation totale. L'illumination étant proportionnelle, pour une température donnée, à la radiation, il y aura lieu d'examiner si le phénomène offre une régularité suffisante lorsqu'on fait varier les températures et les filaments de charbon ou de platine introduits dans les lampes. Ces diverses questions élucidées, on pourra définir un étalon lumineux absolu par la résistance d'un filament et l'énergie électrique du courant.

Conditions que doivent remplir les machines électriques actionnant des lampes à incandescence. — Les machines pour l'éclairage par incandescence doivent être MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES ou DYNAMO à excitation par dérivation; les conditions d'économie font généralement préférer ces dernières. La résistance intérieure de ces machines doit être relativement aussi faible que possible, et cette condition est d'autant plus facile à réaliser et d'autant plus compatible avec l'économie que l'on emploie des lampes plus résistantes.

La question de la durée de la lampe doit également être prise en sérieuse considération, puisque le prix de ces lampes est jusqu'à présent assez élevé. Or, on remarque que la lumière donnée par une lampe augmente beaucoup plus vite que la dépense de travail; d'où on conclut qu'il est avantageux de forcer, autant que faire se peut, le pouvoir lumineux d'un type donné.

Mais si on pousse l'expérience au delà d'une certaine limite, on diminue par cela même la durée de la lampe dans une forte proportion.

Il y a là, comme on le voit, deux conditions opposées. On comprend, dès lors, que l'étude du régime le plus avantageux à réaliser est fort complexe. Cette étude

devrait s'appuyer sur des lois fondamentales établissant des relations algébriques précises entre les divers éléments qui entrent en jeu, savoir : pouvoir lumineux, énergie et durée correspondantes. La connaissance de ces lois est encore fort imparfaite.

Application et avantages des lampes à incandescence. — La lumière par incandescence se prête admirablement aux applications les plus diverses. Elle se plie à toutes les exigences ; aussi trouve-t-elle son emploi dans les usines, les

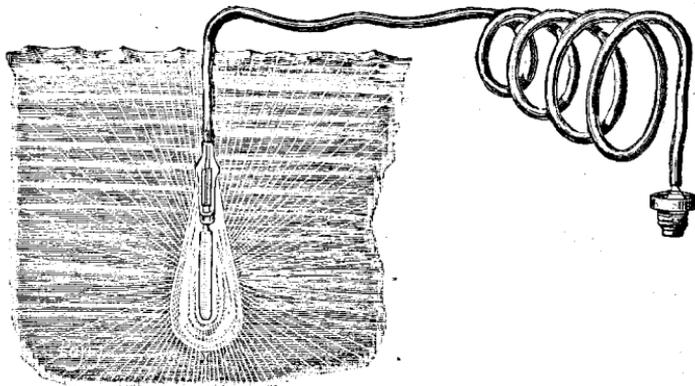


Fig. 10. — Lampe à incandescence disposée pour éclairage sous-marin.

théâtres, les cafés, les appartements, les bureaux, les galeries de mines, etc. Elle est également très appropriée à bord des vaisseaux. (V. au mot ÉCLAIRAGE ÉLEC-

TRIQUE la description de l'installation faite à bord du paquebot « Océanien » et la vue des lampes à incandescence, employées dans ce but.) La lampe à incandes-

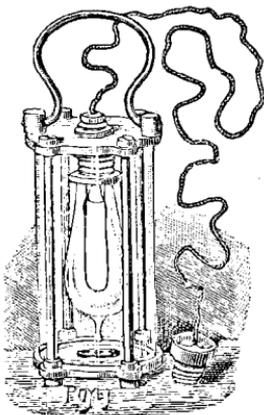


Fig. 11. — Lampe de mineur en laiton, avec accessoires.



Fig. 12. — Modèle de Support mobile pour lampe à incandescence d'Edison. (Lampe de bureau.)

cence pouvant brûler sous l'eau, sert à visiter l'hélice, le gouvernail et la coque du navire. Dans un de ses voyages d'exploration scientifique à bord du « Talisman », M. Milne Edwards s'est servi de lampes à incandescence pour éclairer les recherches de ses plongeurs revêtus

de scaphandres. La fig. 40 représente une lampe à incandescence, système Edison, fixée à l'extrémité d'un câble flexible et disposée pour faire ces recherches.

Les fig. 11 et 12 donnent la vue de deux autres lampes à incandescence, système Edison, également, fixées

à l'extrémité d'un câble flexible; l'une pour mineurs, | l'autre disposée pour un bureau.

On adapte les lampes à incandescence à toutes les formes d'appareillage. C'est ainsi qu'on les dispose

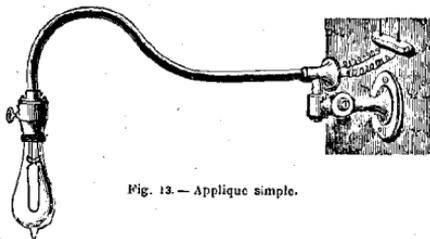


Fig. 13. — Applique simple.

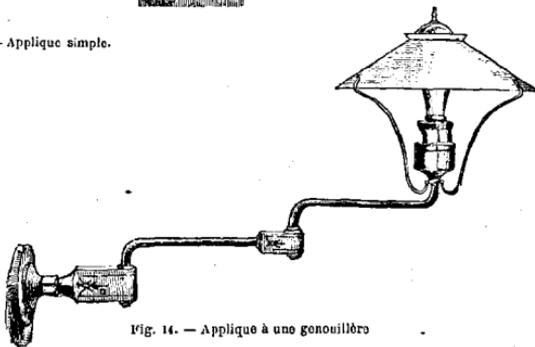


Fig. 14. — Applique à une genouillère

sur des appliques simples ou à genouillère (fig. 13 et fig. 14), des suspensions à coulisses et des supports

mobiles. Elles se prêtent mieux à l'ornement que le gaz ou les bougies, car elles brûlent dans tous les

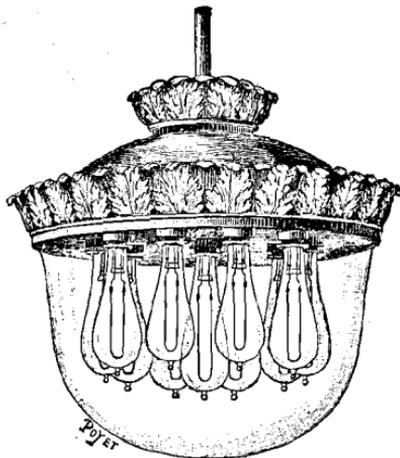


Fig. 15. — Lanterne avec lampes Edison pour l'éclairage d'une grande salle.

sans. Dans les lanternes, on peut les placer la tête en bas (fig. 15); la lumière se trouve alors entièrement réfléchi vers le sol sans projeter aucune ombre.

La fig. 16 représente un modèle de lustre pour salon avec lampes à incandescence Edison.

Pour allumer ou éteindre ces lampes, il suffit de

manœuvrer un commutateur ou clef d'extinction que l'on peut placer n'importe où, à portée de la main. On

peut ainsi les allumer à volonté, une à une ou toutes simultanément.

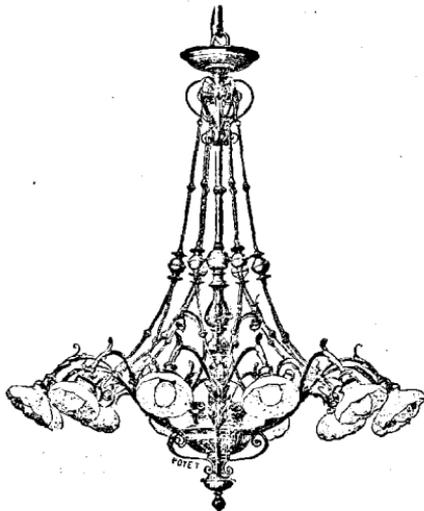


Fig. 16. — Lustre avec lampes Edison pour salon

Les lampes sont généralement montées chacune sur un coupe-circuit ou cutoff destiné à protéger le filament au cas où l'intensité du courant atteindrait une valeur trop grande, ce qui aurait pour conséquence de rompre ce filament. La fig. 17 donne la vue des coupe-circuits généralement employés pour les

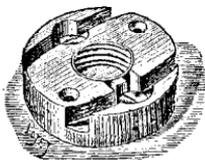


Fig. 17. — Coupe-circuit pour lampe Edison.

lampes Edison. La lampe se visse dans la cavité filotée placée au centre de l'appareil.

Lorsque les lampes sont alimentées par une machine dynamo-électrique, ce qui est le cas habituel, et qu'elles sont par suite branchées sur une CANALISATION ÉLECTRIQUE, il faut prendre certaines précautions pour conserver aux lampes une égale intensité lumineuse. On sait, en effet, que dans une canalisation électrique il se produit une perte de charge qui entraîne une déperdition d'énergie; il y a donc le plus grand intérêt, au point de vue de l'économie de force motrice, à réduire cette perte à son extrême minimum. Il faut, pour cela, donner aux CONDUCTEURS

les sections les plus fortes possibles; mais on se trouvera limité par le prix du cuivre, car il est bien évident que, si l'on prenait des sections trop considérables, l'avantage que l'on retirerait de l'économie en force motrice serait compensé et au delà par l'accroissement de dépense en conducteurs. Or, à perte de charge égale, les sections à employer sont d'autant plus faibles que la résistance des lampes est plus forte.

Le RÉGULATEUR que la Compagnie Edison emploie pour maintenir constamment les lampes à leur intensité lumineuse normale est représenté fig. 18. Il arrive, en effet, que lorsqu'on éteint un grand nombre de lampes, celles qui restent dans le circuit reçoivent un surcroît de courant qui augmente leur pouvoir lumineux. Il suffit d'avancer d'un ou de plusieurs crans la manivelle du régulateur pour ramener ainsi les lampes à l'intensité voulue; on augmente ainsi leur durée et on réalise le maximum d'économie.

Lampes portatives. — On a combiné une quantité de modèles de lampes à incandescence portatives qui, naturellement, ne peuvent plus être alimentées par le courant d'une machine. Il faut annexer à la lampe une PILE ou un ACCUMULATEUR de volume assez restreint pour que le poids ne dépasse pas des limites acceptables en pratique.

Nous donnons à titre d'exemple la description et la vue (fig. 19) de la lampe électrique portative de M. Trouvé. Elle se compose d'un vase en ébonite de forme cylindrique divisé par six cloisons intérieures en autant de compartiments contenant chacun 100 centimètres cubes d'une solution sursaturée de bichro-

mate de potasse et d'acide sulfurique. La réunion des six diaphragmes, établis suivant les rayons du cylindre, constitue un axe perforé dans toute sa longueur et dans lequel est logé un ressort à boudin; ce

ressort s'appuie concentriquement sur l'épaulement d'une tige montée sur une large base circulaire, et supporte, d'autre part, le couvercle de l'appareil que traverse librement la partie supérieure de la tige

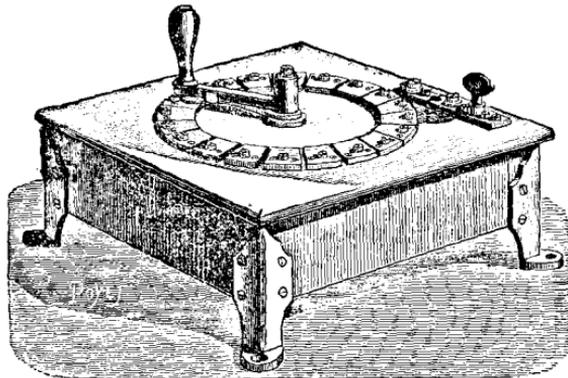


Fig. 18. — Régulateur d'intensité pour lampes à incandescence.

centrale; le couvercle, d'un diamètre légèrement inférieur à celui du vase, dans lequel il peut ainsi pénétrer, porte 24 cylindres dont 18 de charbon et

6 de zinc amalgamé d'une façon spéciale; 3 carbons réunis en surface et 1 zinc composent un couple d'éléments. La pile comprend ainsi 6 cou-

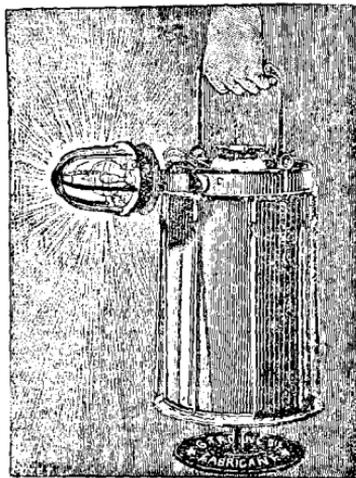


Fig. 19.



Fig. 20.

ples correspondant aux 6 compartiments du vase en shonite; et ces couples sont montés en tension. La lampe proprement dite est fixée soit sur le côté du vase, soit au-dessus; une ampoule de cristal épais, garanti lui-même par une lanterne métallique, la met à l'abri de tout accident. Quand la

lampe est posée sur une table ou par terre, le ressort à boudin soulève les couples charbon-zinc hors du liquide excitateur; mais si on la prend à la main, en la tenant par la poignée fixée extérieurement au récipient, la base de la tige portant le couvercle n'étant plus maintenue par le sol, les couples plongent dans

la solution de bichromate, et la pile entrant en action, la lampe s'allume aussitôt.

Un système analogue à une monture de parapluie enveloppe extérieurement la lanterne, de sorte que si, étant posée sur une table, on cherche à la renverser, les baguettes verticales et articulées s'écartent,

forment arc-boutant et empêchent l'appareil de tomber (fig. 20). A l'aide de l'écrochu H, que l'on aperçoit



Fig. 21.



Fig. 22.

au sommet du vase D, on peut n'immerger les couples que d'une quantité déterminée, et par suite le filament de la lampe à incandescence se trouve porté seule-

ment au rouge sombre. M. Trouvé annonce que la puissance lumineuse de sa lampe est de 4 bougies environ, et que le courant donné par sa pile de 6 élé-

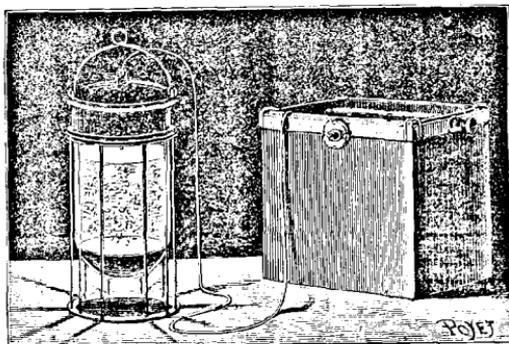


Fig. 23. — Appareil disposé pour l'étude des ferments.

ments montés en tension a une force électromotrice de 8 volts et une intensité de 1,2 ampère, ce qui donne une force de 10,08 watts ou environ 1 kilogrammètre par seconde.

M. Trouvé fabrique des lampes de ce système destinées aux travailleurs, gaziers, mineurs, sapeurs-pompiers, etc.; l'allumage se fait automatiquement lorsqu'on pose l'appareil à terre, lorsqu'on l'écroche

à la ceinture ou qu'on le place en bandoulière. La *fig. 21* donne la vue de la lampe à incandescence portative utilisée par les sapeurs-pompiers de la ville de Paris.

Lampes pour recherches microscopiques. — M. Trouvé a disposé aussi les lampes à incandescence de façon à les utiliser dans les laboratoires pour les études microscopiques.

Les *fig. 22* et *23* représentent deux appareils de ce genre. Le premier (*fig. 22*) se compose d'un vase cylindrique en cristal, au fond duquel est placé un miroir plan en glace argentée; le vase est surmonté d'un couvercle réflecteur de forme parabolique à surface également argentée, et au foyer duquel est fixée une lampe à incandescence. La lumière de cette lampe, dirigée par le réflecteur sur le miroir plan, se trouve réfléchi vers sa source en rayons parallèles, de sorte qu'il n'y a de lumière perdue pour l'éclairage de l'intérieur du vase que ce que la diffusion seule ne permet pas d'utiliser. Grâce à cet appareil, on peut étudier les animaux les plus délicats. Il est employé à l'observatoire de Roscoff pour les observations zoologiques.

Le deuxième appareil (*fig. 23*), destiné plus spécialement à l'étude des ferments, comprend un vase cylindrique dont le fond est formé par un réflecteur concave à surface argentée. Le couvercle, agencé d'une lampe à incandescence, se visse hermétiquement à la partie supérieure du vase, dont il met le contenu à l'abri du contact de l'air.

Dans ces divers appareils l'incandescence des lampes est produite par le courant d'une pile au bichromate.

INCLINAISON. — Angle formé par l'axe longitudinal d'un barreau aimanté suspendu librement et par le plan horizontal passant par l'axe de suspension de ce barreau (V. AIGUILLE AIMANTÉE). L'inclinaison se mesure à l'aide de la BOUSSOLE D'INCLINAISON et aussi à l'aide du CRACLE DE BARNOW, qui n'est qu'une boussole d'inclinaison de grande précision. (V. MAGNÉTOMÈTRE, MAGNÉTISME.)

INCROUSTATION. — Dépôt solide de cristaux dans les interstices des vases poreux employés pour les piles. — Ces dépôts déterminent souvent la rupture des vases.

INDICATEUR ÉLECTRIQUE. — Nom donné à tout appareil servant à donner des indications à distance. Cette définition présente un caractère de grande généralité : c'est qu'en effet il existe une quantité considérable d'appareils indicateurs qui n'ont rien de particulier au point de vue des actions électriques; ils ne diffèrent que par leurs dispositions mécaniques.

Les appareils décrits au mot AVERTISSEUR (appareils de correspondance de différente nature, avertisseurs du feu, thermo-avertisseurs, avertisseurs de coffres-forts, etc.) et ceux décrits au mot BLOCK-SYSTEM (appareils Jouselin, Guggemos, etc.), sont à proprement parler des indicateurs.

Nous donnons ci-dessous, à titre d'exemple, la description de certains appareils indicateurs qui peuvent présenter de l'intérêt au point de vue de leurs applications.

Indicateur de niveau d'eau. — Appareil ayant pour but de faire connaître à distance les varia-

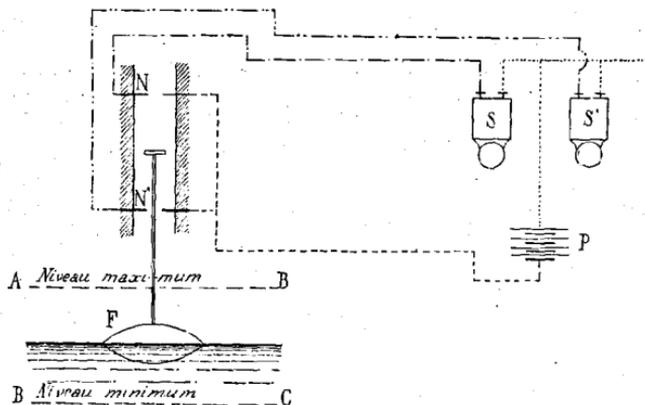


Fig. 1. — Indicateur de niveau d'eau.

tions de niveau de l'eau ou plus généralement d'un liquide dans un réservoir par le tintement d'une sonnerie, par le mouvement d'une aiguille sur un cadran ou par le tracé d'une courbe sur un enregistreur.

(On donne plus spécialement le nom de **CONTRÔLEURS** (v. ce mot) aux appareils qui se bornent à indiquer le moment où un réservoir est plein.)

Voici la description sommaire de quelques indicateurs de niveau d'eau.

1^o Indicateur ayant pour but de prévenir le

surveillance des variations maximum et minimum de l'eau. — Il suffit de munir un flotteur F d'une tige verticale guidée, munie à son extrémité d'une traverse qui vient fermer un circuit (N ou N') lorsque le niveau de l'eau est monté en AB et lorsqu'il est descendu en BC. Des sonneries S et S', montées en dérivation sur chacun de ces circuits, résonnent lorsque la partie supérieure de la tige du flotteur arrive en N ou en N' (*fig. 1*).

On peut s'arranger de façon à faire connaître à

intervalles de temps déterminés la position du niveau de l'eau par rapport à un plan de comparaison invariable. Cette disposition est avantageuse, parce qu'elle rend les observations indépendantes les unes des autres et empêche qu'une erreur commise à un certain moment vienne fausser les indications ultérieures.

2^e Indicateur magnéto-électrique de Siemens et Halske. — MM. Siemens et Halske ont imaginé un **indicateur magnéto-électrique**, c'est-à-dire fonctionnant sans le secours d'une pile, et dont voici le principe. Les mouvements verticaux du flotteur ont pour effet de bander le ressort d'un barillet. Quand la tension du ressort a atteint une certaine valeur (et on règle cette tension de façon à la mettre en rapport avec l'étendue des variations qu'il importe de signaler), le ressort échappe; il tourne rapidement en entraînant la bobine d'une machine magnéto-électrique. Cette machine produit ainsi un courant qui est envoyé par un **commutateur spécial** dans l'un ou l'autre des deux fils qui constituent la ligne. Cette ligne à double fil aboutit à un récepteur comprenant deux **électro-aimants** dont la palette agit sur une roue portant sur son axe une aiguille. Cette aiguille se meut donc dans un sens ou dans l'autre suivant que son mouvement est provoqué par l'un ou l'autre des électro-aimants du récepteur; elle se déplace d'un même angle chaque fois que le niveau de l'eau monte ou descend d'une quantité fixée d'avance.

3^e Indicateur à indications périodiques et indicateur enregistreur, de M. Parentbou. — Cet appareil est appliqué à certains réservoirs de la ville de Paris et fonctionne régulièrement. En voici le principe. Un flotteur est supporté par une chaîne qui

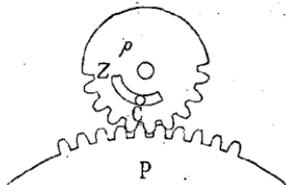


Fig. 2. — Indicateur Parentbou.

passé sur une poulie. Cette poulie P tourne dans un sens ou dans l'autre suivant que le flotteur monte ou descend; elle est armée de dents et engrène avec un pignon p (fig. 2), présentant une rainure dans laquelle pénètre l'extrémité d'une cheville C. Lorsque le pignon a tourné (dans un sens ou dans l'autre) d'une quantité suffisante pour que l'une des extrémi-

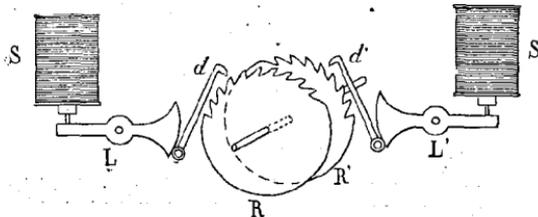


Fig. 3. — Indicateur Parentbou.

tés de la rainure vienne pousser cette cheville, cette dernière fait basculer un récipient de verre contenant du mercure. Chaque demi-révolution de ce récipient provoque une émission de courant direct ou inverse, suivant que la rotation a lieu dans un sens ou dans l'autre, c'est-à-dire suivant que le niveau de l'eau dans le réservoir s'élève ou s'abaisse.

Quant au récepteur, il se compose essentiellement de deux roues à rochet (R et R') montées sur le même axe, mais dont les dents sont taillées en sens inverse (fig. 3). Dans le plan de chacune de ces roues est un levier (L et L') qui actionne un doigt d'arrêt (d et d') pour la roue correspondante. Quand le levier L, par exemple, se meut dans un sens, le doigt d glisse sur les dents du rochet R sans l'entraîner; quand le levier L se meut en sens contraire, ce doigt pénètre dans la denture et entraîne la roue. Ce dernier effet se produit lorsque le levier L, abandonné à lui-même, bascule sous l'action du poids de sa grande branche. Dans l'état normal, le levier est maintenu horizontal par le noyau du solénoïde S, contre lequel bute sa petite branche. Mais dès qu'un courant est envoyé dans ce solénoïde, le noyau de fer doux est attiré, et le levier L peut alors basculer dans le sens indiqué plus haut. Le fil de ligne venant du transmetteur aboutit à un relais polarisé qui, suivant le sens

du courant émis, envoie dans l'un ou l'autre des solénoïdes S et S' le courant d'une pile locale. Ainsi donc l'émission d'un courant direct, par exemple, correspondant à l'élévation de l'eau, fera tourner l'axe dans un certain sens, et l'émission d'un courant inverse, correspondant à un abaissement du niveau de l'eau, fera tourner cet axe en sens contraire. Il suffira de placer sur l'axe une aiguille pour connaître les variations de niveau. On peut transformer l'appareil en un instrument enregistreur; il suffit de monter sur l'axe des deux roues R et R' un pignon engrenant avec une crémaillère dont l'extrémité serait munie d'un style appuyant sur un cylindre tournant.

Indicateurs de vitesse. — M. Marcel Deprez, se fondant sur l'expérience faite par Arago (v. COURANTS DE FOUCAULT), a construit un appareil qui peut servir à mesurer la vitesse des mouvements rapides de rotation, et lui a donné le nom d'**indicateur magnétique de vitesse**.

Il se compose essentiellement (fig. 4) d'un aimant en fer à cheval A, auquel on peut communiquer à l'aide d'une poulie p un mouvement de rotation rapide autour d'un axe horizontal creux représenté à ses extrémités sur deux coussinets c et c. Entre les branches de l'aimant se trouve un cylindre creux en cuivre C,

contenant un noyau de fer doux supporté par un arbre *aa* passant dans l'intérieur de l'axe de rotation de l'aimant et dont les deux bouts reposent sur des couteaux *f f'*. L'un d'eux porte une longue aiguille maintenue verticale par un contrepois et placée devant un cadran divisé (fig. 5). Quand on fait tourner l'aimant A, des courants naissent dans le cylindre C, qui tend ainsi à tourner dans le même sens que

l'aimant avec d'autant plus de force que la vitesse de rotation de cet aimant est plus grande. On gradue l'appareil en augmentant ou en diminuant le contrepois qui s'oppose à la déviation de l'aiguille : on peut en effet admettre que l'action de ce contrepois varie proportionnellement à l'angle d'écart dans le cas où cet angle est petit. Les déviations de l'aiguille sont sensiblement proportionnelles aux vitesses de rotation.

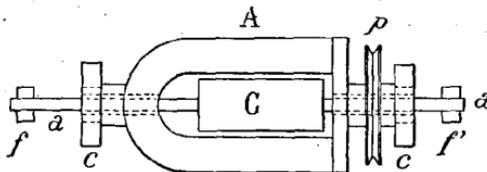


Fig. 4. — Indicateur de vitesse de M. M. Deprez. (Vue en plan.)

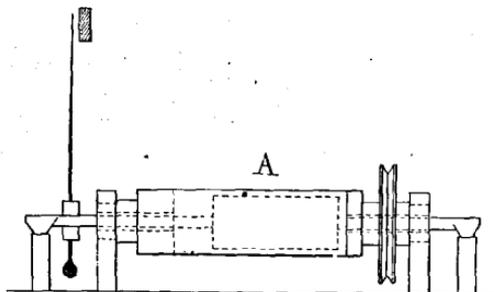


Fig. 5. — Indicateur de vitesse de M. M. Deprez. (Vue en élévation.)

M. Horn a construit un appareil analogue (fig. 6). Entre les pôles d'un aimant en forme d'U se trouve un

cylindre en cuivre creux qui reçoit le mouvement de rotation de la machine dont on veut apprécier la

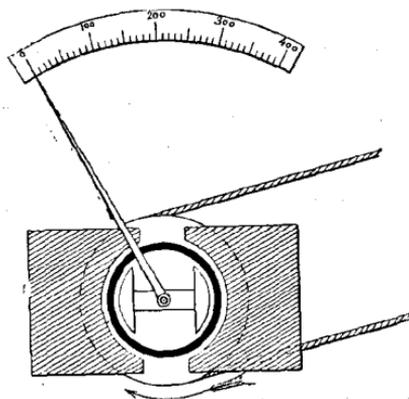


Fig. 6. — Indicateur de vitesse de Horn.

vitese. Dans l'intérieur de ce cylindre est une pièce de fer doux affectant la forme d'un double T mobile

autour d'un axe, et portant une aiguille indicatrice. La rotation du cylindre de cuivre détermine dans cette

pièce de fer doux des courants qui tendent à la faire tourner et par suite à faire dévier l'aiguille

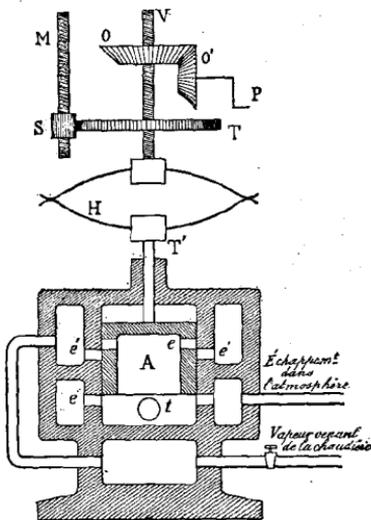


Fig. 7.

de quantités proportionnelles aux vitesses de rotation. Seulement les indications de l'instrument sont indé-

pendantes des variations de MAGNÉTISME de l'aimant. En effet, l'intensité des courants produits, ainsi que l'aimantation du fer doux, sont proportionnelles au CHAMP MAGNÉTIQUE. Comme d'autre part l'action de l'aimant sur le fer doux est proportionnelle au carré de l'intensité du champ magnétique, l'action du cylindre de cuivre sera proportionnelle au carré de cette même intensité et les déviations de l'aiguille ne sont pas dès lors influencées par les variations du champ.

Indicateur de la vitesse des navires. — Une courroie passant sur l'arbre de l'hélice du navire fait tourner une MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE; le courant ainsi produit est envoyé à un petit moteur placé dans la chambre du capitaine et ce moteur actionne à son tour un indicateur de vitesse.

Indicateur électrique des pressions.

— Appareil imaginé par M. Marcel Deprez pour relever les diagrammes permettant d'évaluer le travail de la vapeur sur les pistons d'une locomotive.

Ces appareils donnent les mêmes indications que les indicateurs de pression ordinaires, non électriques, mais ils présentent sur ces derniers l'avantage d'être exempts des erreurs provenant de l'inertie des pièces (erreurs qui peuvent être considérables lorsque la vitesse du piston atteint une valeur un peu grande) et de faire le relevé à distance. Les indicateurs électriques constituent l'un des organes importants des WAGONS DYNAMOMÈTRES; ils permettent d'éclaircir certains points d'application de la thermodynamique à la théorie des machines à vapeur. Nous empruntons à la notice publiée par la Compagnie du chemin de fer du Nord, à l'occasion de l'Exposition d'électricité de Vienne, en 1883, la description de l'indicateur électrique qu'elle avait exposé et dont le principe consiste à chercher quelles sont les positions occupées par le piston de la machine quand la pression variable de la vapeur passe par une valeur arbitraire, mais connue.

Le appareil se compose essentiellement des parties suivantes : 1° une valve réductrice ou soupape auto-

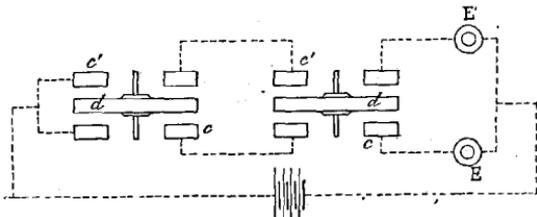


Fig. 8.

régulatrice (fig. 7), qui permet de disposer à volonté des pressions connues à chaque instant et variables depuis la pression de l'atmosphère jusqu'à celle de la chaudière; 2° quatre explorateurs de pression (fig. 8), en communication chacun avec l'un des fonds des cylindres, et tous avec la valve réductrice; 3° deux enregistreurs électriques (fig. 9), en communication avec chaque groupe de deux explorateurs; 4° deux tambours d'indicateurs (fig. 10), mis en mouvement par les crasses des pistons.

Les enregistreurs se déplacent à la main et verticalement le long des tambours d'indicateurs, et leurs styles marquent un point sur le papier de leur tambour chaque fois que la pression, sur l'une ou sur l'autre des faces du piston correspondant de la ma-

chine, atteint une intensité donnée par la hauteur que l'enregistreur occupe à cet instant au-dessus de la ligne atmosphérique.

A cet effet, les enregistreurs sont portés par un bâti qui fait écart sur la vis M, mise en mouvement par le train d'engrenages OOTS, tourné à la main par la manivelle P (fig. 7). En même temps que la vis M fait monter ou descendre les enregistreurs le long de leurs tambours, la vis V déstend ou comprime le ressort H qui appuie sur la tige T' du piston de la valve régulatrice A. Ce piston est percé de lumières et glisse dans un cylindre également percé de lumières e', toujours en rapport avec la vapeur de la chaudière ou avec l'air comprimé à une pression connue, et d'ouvertures e' toujours en communication avec l'at-

mosphère. Dès que la pression, sous le piston A, est inférieure à celle du ressort II, le piston s'abaisse, écarte l'échappement e et ouvre l'admission e' de la vapeur de la chaudière jusqu'à ce que l'égalité soit établie, et il suffit pour cela d'un mouvement très petit du piston, de sorte que la pression de la vapeur dans la capacité A de la valve réductrice est réellement égale, à chaque instant, à celle que donne la lecture d'une graduation de la vis V, établie une fois pour toutes. (L'idée de la soupape auto-régulatrice et les modifications qui en résultent dans l'ensemble du fonctionnement de l'appareil sont dues à M. Napoli; mais M. Marcel Deprez a modifié cette soupape et l'a même supprimée en transformant le piston en valve régulatrice, ainsi qu'on vient de le voir.)

« Chacun des explorateurs est constitué par un disque en aluminium d (fig. 8), dont l'une des faces est constamment en rapport, par le tuyau t (fig. 7), avec la capacité A de la valve auto-régulatrice, tandis que son autre face est mise en rapport avec la vapeur du cylindre sur le fond duquel il est attaché. Tant que la pression dans la capacité A diffère de la pression dans le cylindre, les deux explorateurs ferment, par leurs contacts avec les parois métalliques e ou e' du cylindre qui les renferme, le courant d'une pile, reliée aux électro-aimants E et E' de l'enregistreur correspondant. Dès que l'équilibre entre les pressions dans le cylindre de la machine et dans la capacité A cesse d'exister sur l'un des disques d, le courant électrique se trouve interrompu, et les électro-aimants cessent d'agir sur l'enregistreur.

« Chaque enregistreur se compose d'un style i, qui vient au contact du tambour correspondant de l'indi-

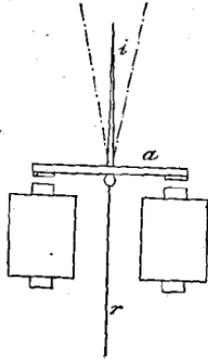


Fig. 9.

cateur dès qu'il se trouve dans la position indiquée en traits pleins (fig. 9). Ce style est muni d'une armature a pouvant osciller autour de son milieu, et fixée à un ressort r qui tend sans cesse à ramener le style dans sa position moyenne. Tant que le courant n'est pas interrompu par le mouvement d'un des disques d, le style i se trouve écarté du papier, à droite ou à gauche, suivant que le courant passe par l'un des électro-aimants E ou E' qui correspondent aux contacts e ou e'. On voit donc que le style i marquera sur le papier de son tambour une série de points indiquant à quel instant de la course du piston la machine à vapeur a atteint, dans son cylindre, une pression égale

à celle qui est marquée par la graduation de l'appareil. Cette série de points constitue le diagramme moyen du travail de la vapeur sur les faces du piston, pendant le nombre plus ou moins grand de courses soumises à l'expérience.

Chaque tambour à papier de l'indicateur Z (fig. 10) reçoit son mouvement circulaire alternatif du piston de la machine avec lequel il est relié. L'axe fixe J, dont la tête est maintenue par le verrou R afin d'empêcher les vibrations pendant la marche, porte à sa base un disque V sur lequel est fixé un des tambours Z. Dans la gorge de la poulie U est enroulée la corde qui communique avec la crosse du piston de la machine; le disque

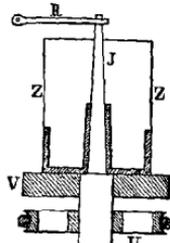


Fig. 10.

et la poulie sont tous deux munis d'un barillet destiné à ramener sans choc ces pièces, après chaque course du piston. L'entraînement du disque se fait de la manière suivante. A la poulie U est fixée une potence portant à son extrémité, en forme de retour de sonnette, un petit galet m (fig. 11) qui roule sur la surface extérieure du disque V; un ressort donne de l'adhérence à ce galet. D'autre part, le disque V porte sur un des points de sa circonférence une entaille

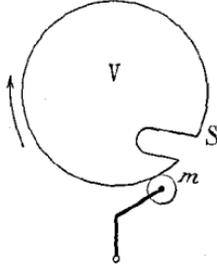


Fig. 11.

profonde S. Si, en faisant tourner un peu le tambour avec la main, on présente cette entaille à la fin de course du galet m, on conçoit que ce dernier, tombant au fond de l'encoche, va entraîner le disque V et lui communiquer son mouvement circulaire alternatif; si, au contraire, on veut immobiliser le disque V et par conséquent le tambour, il suffit de présenter le pouce à la potence, et l'on force ainsi le galet à sortir immédiatement de l'entaille. Ces deux opérations s'accomplissent lorsque le galet est à la fin de sa course, c'est-à-dire lorsque sa vitesse est nulle ou très faible; il n'y a donc pas de choc et, par suite, pas de chances de rupture de la ficelle qui transmet le mouvement. Cette disposition permet en outre de relever une série de courbes, sans avoir besoin d'interrompre le fonctionnement de l'indicateur. »

Indicateurs pour les navires en rade. — Parmi les indicateurs, nous signalerons l'appareil imaginé par le commandant Trèves pour

donner, de la côté à tous les navires en vue, un signal horaire; par exemple, à midi juste. La connaissance exacte du temps est, en effet, essentielle à bord d'un bâtiment. Un déclenchement électrique détermine à midi moyen la chute d'une grosse boule le long d'un mât de signal installé en un point bien découvert de la côte. L'usage de ces signaux horaires s'est généralisé non seulement dans les ports français, mais aussi à l'étranger.

En Allemagne, la grosse boule noire du signal est relevée à la main à mi-hauteur dix minutes avant l'heure et à hauteur totale cinq minutes avant l'heure exacte à laquelle le télégraphiste envoie un courant déclenchante, par l'attraction d'un électro-aimant, l'arrêt du signal, qui tombe ainsi à l'heure exacte.

Indicateurs de grisou. — Dans les mines, l'électricité peut être utilisée à l'organisation d'un système d'indications pour prévenir les dangers qui résultent du dégagement du grisou.

Suivant M. Somzée, ingénieur honoraire des Mines en Belgique, ce système d'indications pourrait être conçu de la façon suivante :

On placerait dans la mine, en des endroits convenablement choisis et numérotés, des avertisseurs à sonnerie reliés en outre à des TABLEAUX INDICATEURS disposés dans le bureau du chef de service; on munirait les portes ou cloisons d'aérage de contacts d'ouverture et de fermeture pouvant signaler au bureau l'exécution des manœuvres; enfin les ouvriers eux-mêmes seraient munis d'indicateurs amovibles de la présence du grisou. M. Somzée, se basant sur ce qu'une proportion même faible de grisou dans l'atmosphère a pour effet d'élever la température de la flamme de la lampe Davy, ou a l'idée de profiter de cette circonstance pour obtenir la fermeture d'un circuit électrique et mettre ainsi en jeu une sonnerie d'avertissement. Il place donc dans le capuchon en toile métallique de la lampe une lame bimétallique en spirale. On a ainsi un véritable thermoscope. La lampe du mineur comporte une petite pile Marié Davy et une petite sonnerie tremblante prenant place au-dessous du réservoir à huile de la lampe. On peut aussi employer un THERMOSCOPE à fragments de charbon pour signaler, par une différence de résistance dans un circuit galvanométrique l'élevation de température produite dans la lampe par la présence du grisou. On aurait ainsi un système indicateur très simple.

Un autre indicateur électrique, dû également à M. Somzée, est basé sur le pouvoir d'absorption relative des radiations calorifiques obscures que donne à l'air le mélange d'une proportion plus ou moins grande de grisou. L'appareil se compose de deux tubes parallèles, dont l'un contient de l'air pur et dont l'autre est alimenté par une prise d'air dans la mine; l'air est d'ailleurs ramené dans ces deux tubes au même degré hygrométrique. Les rayons calorifiques obscurs provenant soit d'une plaque chauffée, soit d'une autre source quelconque, se répartissent également entre les deux tubes qu'ils traversent, et comme ils sont absorbés en partie dans celui qui contient l'air de la mine, ils franchissent en quantités inégales les cloisons diathermanes en sel gemme qui forment les tubes à leurs extrémités et viennent agir inégalement, concentrés par des réflecteurs coniques, sur les deux faces d'une PILE THERMO-ELECTRIQUE reconchée et reliée à un galvanomètre. L'expérience détermine les déviations de ce galvanomètre pour des proportions données de grisou; la sensibilité de l'appareil peut être aussi grande qu'on le désire.

Ces deux systèmes d'indicateurs de grisou sont

décrits dans les *Rapports du jury de l'Exposition de 1881*, auxquels nous avons emprunté les détails qui précèdent.

On trouve aussi dans ces Rapports la relation d'un appareil de mesure, simple, amovible et d'une manœuvre facile, dû à M. Living et dont le fonctionnement est basé sur l'augmentation de pouvoir éclairant que la présence dans l'air d'une faible quantité de grisou donne à une spirale de platine incandescente.

On ne saurait donner la description de tous les indicateurs employés ou proposés et basés sur l'action de l'électricité; nous terminerons donc ces quelques explications en parlant de l'indicateur de grisou de MM. Waller Emmot et W. Ackroyd. Il consiste dans l'emploi de deux lampes à INCANDESCENCE: l'une en verre rouge, l'autre en verre blanc, et disposées de telle sorte que dans une atmosphère saine la lampe blanche fonctionne tandis qu'elle s'éteint dans une atmosphère viciée; la lampe rouge s'allume, donnant ainsi un avertissement du danger. Ces lampes sont actionnées par une pile. L'un des pôles de la pile est relié à l'un des conducteurs de chaque lampe; l'autre pôle de la pile communique avec un fil de platine qui régit sur toute la longueur d'un tube contenant un ménisque de mercure. D'autre part, chacune des lampes communique avec deux autres fils de platine parallèles au premier et placés le long d'une partie du tube. Le ménisque de mercure sert de commutateur; quand la poussée du grisou le fait monter dans le tube, il rompt la communication de la pile avec la lampe blanche et établit au contraire la communication de la source d'électricité avec la lampe à verre rouge. L'appareil permet de constater la présence de 5 % de grisou dans l'atmosphère.

Indicateur de marche pour installations d'éclairage électrique. — Dans les installations de lumière électrique, il est utile de pouvoir s'assurer à chaque instant que le courant passe dans chacun des circuits et de mesurer pratiquement l'intensité dans toutes les lampes.

Tel est le but de l'appareil représenté *fig. 12*, et auquel M. Cance, qui l'a imaginé, a donné le nom d'indicateur de marche. Cet appareil se compose d'un électro-aimant vertical dont les spires sont en circuit et dont l'un des pôles agit sur un pendule formé par deux petits cylindres. L'un de ces cylindres est en fer doux, l'autre en cuivre; ils ont le même poids. Lorsqu'il ne passe aucun courant, l'aiguille de l'indicateur est verticale et se place en face du trait de repère marqué sur le cadran devant lequel elle se déplace.

Quand on allume les lampes et que, par conséquent, le courant passe dans la bobine, le noyau de l'électro s'aimante et attire le petit cylindre de fer doux, tandis qu'il n'a aucune action sur le petit cylindre de cuivre. Le premier de ces cylindres se déplace donc et agit comme force antagoniste de l'attraction magnétique qui se produit entre ce cylindre et le noyau de l'électro. L'aiguille prend alors une position qui indique nettement le fonctionnement des lampes. Quand le courant cesse, l'aiguille revient à la verticale.

Indicateurs téléphoniques. — On donne ce nom à des appareils dont la forme et la

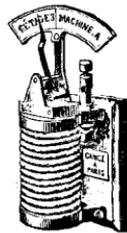


FIG. 12.

disposition varient beaucoup et qui ont pour but d'indiquer à un poste téléphonique à plusieurs directions quel est celui de ses correspondants qui l'a attaqué.

L'indicateur adopté par la Société générale des Téléphones de Paris pour les bureaux centraux est imité d'un modèle venu d'Amérique et qui donne de très bons résultats. Il se compose d'un électro-aimant A à deux bobines E, E, monté sur une pièce de fonte qui porte l'axe O de l'armature (fig. 13). Cette partie de l'appareil est placée derrière un panneau de bois, devant lequel circulent les téléphonistes. La tige de l'armature traverse ce panneau et se termine par un crochet *c* qui, dans la position normale ou d'attente, maintient une plaque P qui cache le numéro de l'abonné.

Quand l'armature n'est pas attirée par l'électro-

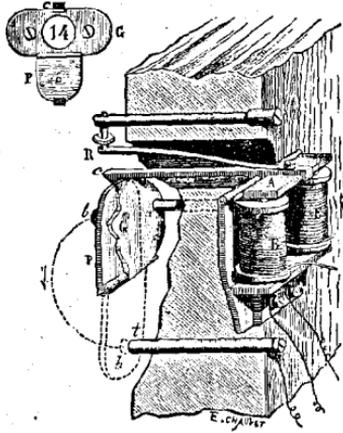


Fig. 13. — Indicateur téléphonique. (Lumière électrique.)

aimant, elle est maintenue écartée et le crochet reste en prise, grâce à un petit ressort plat R dont on règle la tension à l'aide d'une vis. Quand un courant envoyé par l'abonné circule dans le fil de l'électro-aimant, l'armature est attirée, le crochet se lève et la plaque P ou drapeau tombe en tournant autour de son axe et découvre le numéro de l'abonné. Quand le drapeau tombe, une saillie métallique qu'il porte vient buter sur une saillie semblable *δ* portée par le panneau de bois. Le contact de ces deux pièces ferme le circuit d'une pile locale qui fait tinter une sonnerie. L'indicateur est donc en même temps un RELAIS. On trouvera au mot TÉLÉPHONE la description de plusieurs systèmes d'annonciateurs ou indicateurs en usage.

On emploie aussi un autre système d'indicateur téléphonique, imaginé par M. Siour. Le principe est le même. Les fig. 14 et 15 permettent d'en comprendre le fonctionnement. La fig. 14 représente la vue en plan d'un électro-aimant droit au-dessus des pôles duquel se trouve une armature en forme de fer à cheval, portant à sa partie antérieure un bras de levier terminé par un crochet, que l'on voit représenté de profil fig. 15. Ce crochet sert à maintenir un drapeau portant sur sa face postérieure le numéro de

l'abonné. Lorsqu'un courant est envoyé dans l'électro-aimant en fer à cheval est attirée, elle bascule autour de son axe et le crochet abandonne le drapeau qui tombe et prend la position indiquée en pointillé

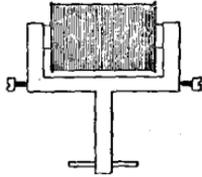


Fig. 14. — Vue en plan.

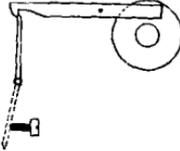


Fig. 15. — Vue de profil.

fig. 15, ce qui ferme le circuit d'une pile locale sur la sonnerie du poste.

Indicateur pour sonnerie électrique.

— Il serait utile dans bien des cas de pouvoir s'assurer qu'une sonnerie électrique a fonctionné quand on a pressé le bouton d'appel. L'appareil imaginé par M. Mackensie remplit ce but. Il consiste en un noyau de fer doux A entouré d'une bobine de fil et placé à

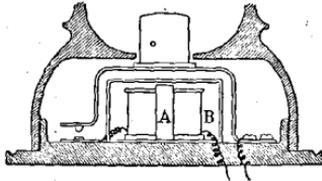


Fig. 16.

l'intérieur d'une petite boîte B en fer dont le couvercle affleure l'extrémité de l'électro-aimant. Cette boîte est disposée sous le bouton d'appel de la sonnerie (fig. 16). La bobine de fil fait partie du circuit auquel on veut appliquer l'appareil. Sous l'influence du courant qui circule dans cette bobine, le noyau A et le couvercle de la boîte B formant les deux pôles opposés d'un aimant rendent un son. Le mouvement vibratoire du timbre entretient le son produit aussi longtemps que le courant passe. On a ainsi un accusé de réception absolument certain, et l'appareil est susceptible de beaucoup d'autres applications. (Revue industrielle.)

Indicateurs pour hôtels et maisons particulières. — (V. TABLEAUX INDICATEURS.)

Indicateurs de courants alternatifs.

— Le professeur Elihu Thomson a construit des

Indicateurs de courants alternatifs basés sur le phénomène suivant :

On a constaté que, au moment de la fermeture du circuit d'un gros électro-aimant sur une batterie de piles, un disque de cuivre tenu à la main à peu de distance de l'un des pôles de cet électro était repoussé et revenait ensuite à sa position primitive dès que le courant a atteint son régime permanent. Au moment de l'ouverture du circuit, le disque est attiré ; si le sens du courant est rapidement alterné, le disque est alternativement attiré et repoussé. Ces effets d'attraction et de répulsion s'expliquent aisément, si l'on réfléchit qu'il se développe dans le disque des courants de sens contraire à celui qui circule dans l'électro au moment de la fermeture et de même sens au moment de l'ouverture ; mais, si l'on vient maintenant à mesurer la grandeur de ces effets d'attraction et de répulsion, on constate que la force répulsive est plus grande que la force attractive, de sorte que l'émission de courants alternatifs suffisamment rapide produit seulement une répulsion du disque.

Ces faits sont facilement mis en évidence par plusieurs expériences. Ainsi, en faisant passer une série de courants alternatifs dans une bobine annulaire plate dans l'intérieur de laquelle on introduit un anneau de cuivre de même hauteur que cette bobine, et mobile autour d'un de ses diamètres, l'anneau se met à tourner et vient se placer dans un plan perpendiculaire à celui de la bobine.

Pour constituer un indicateur de courants alternatifs, M. Elihu Thomson cale la bobine et l'anneau de cuivre à 15 degrés l'un de l'autre et équilibre le couple de torsion par un ressort ou un poids.

INDICATIF. — Signal télégraphique abrégé indiquant la station qui est appelée et celle qui appelle. Sur les chemins de fer français l'indicatif ne sert que pour l'appel et la réponse à l'appel. En Belgique, les indicatifs remplacent complètement les noms des stations.

INDUCTEUR. — Qui induit.

Circuit inducteur. — Celui qui produit l'induction.

Muscle inducteur. — Muscle qui produit une contraction induite.

Inducteur différentiel. — Ce nom a été donné par M. Dove à un appareil qu'il a inventé, et dont il s'est servi pour reconnaître les effets qui résultent de l'introduction de divers métaux dans l'intérieur d'une bobine électro-magnétique.

H et H' représentent des tuyaux de carton sur lesquels est enroulé en hélice un fil de cuivre recouvert de soie, de manière à former deux bobines parallèles, parfaitement identiques (fig. 1). Le fil qui les recouvre commence en f , s'enroule sur le tuyau H, passe en f' sur le tuyau H' autour duquel il s'enroule également, et revient se terminer en f'' , près de son point de départ. L'enroulement du fil est disposé de façon que les courants induits, qui vont tout à l'heure être développés dans les hélices, y marchent en sens contraires, et se neutralisent, s'ils sont égaux.

Cela posé, dans l'intérieur des cylindres H et H' on introduit deux autres hélices A et A' enroulées sur deux tubes creux en verre, et communiquant aussi entre elles par un fil. Elles sont en relation, par les boutons A et B, avec une batterie électrique. Les décharges de ces batteries développent dans les hélices A et A' un courant inducteur qui, à son tour, développe un courant induit dans les hélices H et H'.

Les extrémités f et f' du courant induit sont en contact avec les objets destinés à éprouver les effets de la décharge, laquelle porte le nom de *décharge induite*.

Or, ces effets varient notablement suivant les substances métalliques dont les fragments ont été introduits dans l'intérieur des tubes de verre A et A'. Nous allons en citer quelques exemples.

Si l'on tient aux deux mains les extrémités f et f' ,

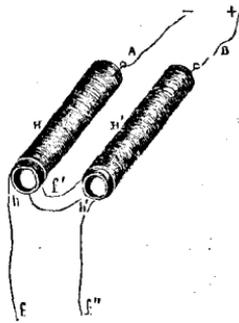


Fig. 1.

pendant que les tubes de verre sont vides, on ne reçoit aucune commotion. De même, on ne reçoit aucune commotion si ces hélices contiennent chacune un fragment identique de la même substance : les courants se neutralisent ; mais, si l'on introduit seulement dans un tube de verre un barreau de métal, la décharge induite produit aussitôt une commotion. Les deux courants inducteurs ne sont donc plus égaux, et il est évident que le courant modifié se peut être que celui dont le tube a reçu le barreau de métal. L'appareil de M. Dove met donc en relief la différence des deux courants, et c'est de là que lui est venu son nom.

La commotion est d'autant plus vive que le métal employé est meilleur conducteur. Ainsi, le métal produit plus d'effet que l'antimoine, celui-ci plus d'effet que le bismuth, ce dernier plus d'effet que le plomb, etc. Les métaux magnétiques se comportent aussi autrement que les métaux non magnétiques.

Il ne nous est pas possible d'exposer ici le détail des particularités qui se présentent à l'essai de chaque métal, particularités dont le nombre est quelquefois considérable pour un même métal, suivant la forme, le poids, la température, etc., du morceau mis à l'épreuve. Le lecteur curieux de ces détails, si importants pour élucider l'obscur question des causes de l'électro-magnétisme, les trouvera dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3^e série, t. IV et LII, et dans les *Archives de l'Électricité*, t. II.

On remarquera la grande analogie de cet appareil oublié aujourd'hui avec le célèbre *BALANCE D'INDUCTION* de Hughes. Celle-ci, à bien dire, n'a pas différé que par l'emploi du *TÉLÉPHONE*, qui n'était pas inventé lorsque M. Dove imagina son appareil.

Inducteur Siemens. — Petite machine magnéto-électrique composée de douze lames d'aimant en fer à cheval, entre les pôles desquelles est placée une bobine d'induction à double T dite « armature Siemens » (V. MACHINE), que l'on fait tourner autour de

son axe à l'aide d'engrenages et d'une manivelle (fig. 2).

Cette machine est employée pour envoyer le cou-

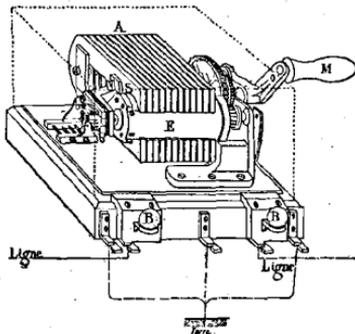


Fig. 2. — Inducteur Siemens.

rant nécessaire à la marche des CLOCHES ÉLECTRIQUES servant, sur les lignes de chemins de fer, à signaler de

poste en poste les différentes circonstances de la marche des trains.

Inducteur Postel-Vinay. — M. Postel-Vinay a construit, en 1884, un inducteur spécialement destiné à produire les signaux à distance et qui se distingue de l'inducteur Siemens : 1° par la suppression des engrenages qui transmettent le mouvement de la manivelle à la bobine induite et qui ont pour inconvénient de faire varier à la volonté de l'opérateur la vitesse de cette bobine et par suite l'effet électrique correspondant ; 2° par la substitution au mouvement continu, donné à la bobine induite au moyen des engrenages, d'un mouvement alternatif demi-circulaire obtenu à l'aide de la détente d'un fort ressort spirale bandé à la main ; 3° par la disposition spéciale du fil induit, qui est fermé en court-circuit sur lui-même pendant la première partie du mouvement, en sorte qu'aucun courant n'est lancé dans le fil de ligne, sauf pendant la détente du ressort : cette détente ne variant jamais, le courant est toujours le même, quelle que soit la vitesse de la manipulation ; 4° la bobine induite ne faisant qu'un demi-tour et toujours dans le même sens, on n'a pas à redresser les courants ; les distributeurs et les frotteurs sont remplacés par un seul disque en cuivre et un seul ressort frotteur.

Les fig. 3, 4 et 5 permettent de se rendre compte du mode de construction de l'appareil : un électro-aimant est calé sur un axe placé entre les deux branches

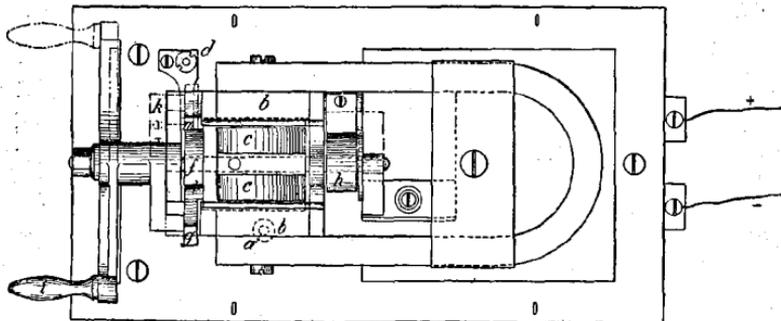


Fig. 3. — Vue en plan de l'Inducteur Postel-Vinay.

d'un fort aimant fixe en fer à cheval ; au repos cet électro-aimant, dont la bobine a une résistance de

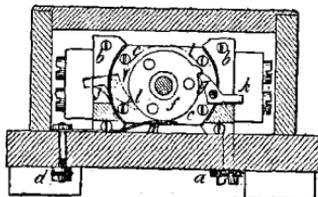


Fig. 4. — Coupe transversale.

250 OHMS, présente ses deux pôles vis-à-vis et presque au contact des pôles de l'aimant qui, par ce fait, est constamment armé. Un des bouts *a* du fil induit

est soudé à la masse métallique *b* de la bobine *e* qui communique constamment à la masse générale de l'appareil ; l'autre bout *d* du fil induit aboutit au disque en cuivre isolé *f* sur lequel frotte le ressort de ligne *m*. Lorsqu'on fait faire un demi-tour de droite à gauche à la manivelle placée à l'une des extrémités de l'axe, elle entraîne dans le même sens par son cliquet *g* la bobine induite *c*, et bande en même temps le ressort *h*. Dans ce mouvement, les pôles de l'électro-aimant ont abandonné les pôles respectifs de l'aimant fixe qu'ils armaient pour se présenter aux pôles opposés. Cette manivelle, qui est elle-même la masse de l'appareil, communique par le cliquet *g* au disque isolé *f*, c'est-à-dire à l'extrémité *d* du fil induit qui

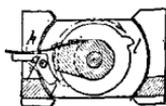


Fig. 5. — Coupe transversale.

se trouve ainsi fermé sur lui-même. Lorsqu'elle est arrivée à fin de course, le cliquet *g* vient s'appuyer sur un butoir *j* de la masse de la bobine, et son ressort *r*, en fléchissant, lui fait abandonner la dent *l* du disque isolé (fig. 4). C'est à ce moment que le ressort *l* se détend et ramène la bobine et le disque de gauche à droite en établissant le courant seulement pendant la durée de sa détente. On ramène ensuite la manivelle au point de départ, et le cliquet vient de nouveau prendre la dent du disque isolé. L'inducteur de M. Postel-Vinay a été adopté par la Compagnie de l'Ouest. (La description et les dessins ont été empruntés à la *Revue générale des chemins de fer*, décembre 1885.)

Inducteurs des machines dynamo-électriques. — On désigne ainsi les organes des machines dynamo-électriques qui doivent servir à développer le CHAMP MAGNÉTIQUE dans lequel se déplacera l'induit.

En général l'inducteur d'une machine est terminé par deux pièces polaires de forme courbe qui enveloppent l'induit. Etant donné la très faible résistance magnétique de ces pièces, on peut admettre que le potentiel magnétique est constant le long de chacune d'elles.

Le problème qui se pose au sujet de la détermination des éléments des inducteurs d'une machine dynamo-électrique consiste à faire en sorte qu'une différence de potentiels magnétiques donnée soit développée entre les deux pièces polaires qui terminent ces inducteurs, la résistance magnétique de l'espace compris entre elles étant connue. (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

INDUCTION. — Action par laquelle, un COURANT venant à prendre naissance ou à cesser dans un circuit, il se produit dans un circuit voisin un courant, inverse dans le premier cas, semblable dans le second.

Induction électrique. — Induction électrostatique. — Synonymes d'électrisation par influence. (V. ÉLECTRICITÉ.)

Les physiciens s'étaient primitivement servis du mot induction pour désigner l'action d'un corps électrisé sur un corps neutre placé à distance. En 1831, Faraday chercha à faire naître un courant dans un conducteur fermé, placé sous l'influence d'un aimant. Il était guidé par cette idée que, si l'électricité en mouvement a le pouvoir de développer le magnétisme, réciproquement les aimants doivent produire les principaux phénomènes électriques. Ses expériences l'amènent à ces conclusions fondamentales : « Lorsqu'un circuit conducteur fermé commence à recevoir dans quelques-uns de ses points l'action d'un courant quelconque, il est traversé par un courant inverse; lorsqu'il cesse de recevoir cette action, il est traversé par un courant direct; enfin, pendant qu'il reçoit cette action d'une manière constante, il n'est traversé par aucun courant. » Cette proposition se vérifie par l'action d'un aimant, d'un courant ou de la terre sur un courant fermé portant un galvanomètre,

Induction par les aimants. — Soit une bobine de bois autour de laquelle est enroulé un fil métallique couvert de soie, de 200 à 300 mètres de longueur, et dont les extrémités sont mises en communication avec celles d'un GALVANOMÈTRE suffisamment éloigné. Si la bobine porte une ouverture centrale et que l'on y plonge brusquement un aimant, l'aiguille du galvanomètre est déviée avec plus ou moins de force; mais elle ne tarde pas à revenir au repos, et elle reste ainsi aussi longtemps que l'aimant reste en place. Au moment où l'on retire l'aimant,

l'aiguille s'agit de nouveau en sens inverse pour revenir encore à zéro. Il s'est formé dans le fil, en premier lieu, un courant instantané inverse de celui que l'on peut supposer parcourir le barreau d'aimant; en second lieu, un courant induit direct, c'est-à-dire de même sens que celui qui traverse l'aimant d'après la théorie d'Amperè.

On sait que le fer nous s'aimante facilement sous l'influence d'un barreau ou faisceau aimanté, et qu'il revient promptement à son état primitif aussitôt que l'on interrompt cette influence. Si donc on met dans l'intérieur de la bobine un cylindre de fer doux, et qu'on approche à plusieurs reprises un barreau aimanté, le fer s'aimantera à chaque approche et retombera à son état naturel à chaque retrait de l'agent magnétique. Il agira donc comme cet agent lui-même agirait.

Induction produite par un courant voltaïque. — Faraday avait enroulé deux fils de cuivre revêtus de soie et de même longueur autour d'un

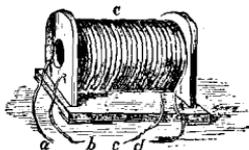


Fig. 1.

bobine, c'est-à-dire d'un cylindre de bois *c* (fig. 1). Ces deux fils étaient disposés de manière à former deux hélices parallèles. En mettant les deux extrémités *a, b*, de l'un des fils en communication avec une pile plus ou moins forte, et les extrémités *c, d* de l'autre fil avec les deux extrémités du fil d'un galvanomètre, il vit qu'au moment de la fermeture du circuit l'aiguille du galvanomètre se met en mouvement et indique dans le fil *cd* un courant inverse du premier. Après quelques oscillations, l'aiguille revient au point de départ, et s'y maintient tant que le circuit voltaïque reste fermé. Si l'on interrompt le circuit, l'aiguille est déviée de nouveau, mais en sens inverse, pour revenir comme précédemment à son point de départ. Faraday a cru reconnaître que le courant induit qui se produit à l'instant où l'on ferme le circuit a plus de puissance que le courant inducteur.

Application de l'induction. — Il est facile, dit M. Pouillet, bien que les courants soient instantanés par leur nature, de les rendre en quelque sorte continus, pour mieux observer tous les phénomènes qu'ils sont capables de produire. En effet, *A* et *B* représentant les pôles boreal et austral d'un aimant ordinaire (fig. 2); supposons qu'en-dessous de cet aimant se trouve un électro-aimant, dont, pour plus de simplicité, nous ne représentons que les extrémités inférieures *M* et *N*, ainsi que l'axe vertical *C* autour duquel il peut tourner, et examinons les phénomènes qui vont se produire dans la branche *M*, pendant qu'elle décrit une circonférence entière en partant de la position *M'*, et en passant successivement en *M, N', N. De M' en M*, le fluide boreal du fer doux de cette branche est attiré, le fluide austral repoussé; et il en résulte dans le fil un courant inverse du courant du pôle austral *A*; de *M en N'*, les deux fluides tendent à se recomposer, le courant est direct avec *B* et inverse avec *A*; d'où il suit enfin que, dans toute la demi-circonférence comprise entre *M* et *N*,

en passant par N', le courant du fil de la branche M marche dans un sens, et que dans toute la demi-circonférence comprise entre M et N, en passant par M', il marche en sens inverse. Ce que nous venons de dire de la branche M s'applique à la branche N. Donc, pour avoir un courant continu ou à peu près, il suf-

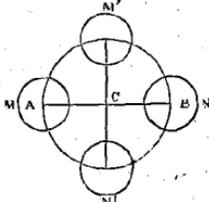


Fig. 2.

fit d'imprimer à l'électro-aimant un mouvement de rotation rapide, et de recueillir seulement le courant qui se produit pendant le passage de l'une de ses branches par l'une des demi-circonférences comprises entre M et N, ou bien encore de recueillir le courant qui se produit dans les deux demi-circonférences, mais d'en changer la direction au moyen d'un commutateur, pour le faire arriver dans les corps où on veut le faire agir. C'est d'après ces principes que M. Pixii a construit le premier appareil qui permit d'obtenir, des courants dus à l'influence d'un aimant, tous les effets connus de l'électricité voltaïque.

Appareil de Pixii. — Un électro-aimant E est placé au-dessus d'un aimant artificiel *aa'*, disposé en fer à cheval et immobile autour d'un axe X (fig. 3). L'élec-

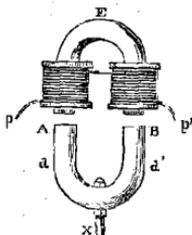


Fig. 3.

tro-aimant doit, par ses bords, être très près des extrémités de l'aimant au moment de la coïncidence, sans toutefois qu'il puisse y avoir contact. Quand les pôles de l'aimant s'approchent, le fer doux de l'électro-aimant s'aimante, de telle sorte que la branche correspondant au pôle austral A recueille le fluide boréal et que l'autre branche recueille le fluide austral. Mais si l'on fait tourner l'aimant, les pôles du fer doux changeront à chaque demi-révolution, et il se développera dans le fil conducteur un courant électrique, qu'il sera facile de constater en faisant communiquer les deux extrémités *p, p'* de ce fil avec celles du fil d'un multiplicateur ou GALVANOMÈTRE. L'aiguille de cet appareil dévie en sens contraire à chaque demi-révolution. Si, pendant la rotation de l'aimant, on touche avec les fils du conducteur les

deux plateaux d'un ÉLECTROMÈTRE CONDENSATEUR, on constate la présence de l'électricité alternativement positive et négative. On a donc incontestablement des courants induits. Le courant induit est d'abord direct, puis inverse, et ainsi de suite. Si, entre les deux pôles *p* et *p'*, on met un fil de platine, il deviendra incandescent; si on met un VOLTMÈTRE, l'eau sera décomposée, et les deux éprouvettes contiendront un mélange d'oxygène et d'hydrogène. Pixii a trouvé moyen de changer le sens des communications à chaque demi-révolution de l'aimant. Il put ainsi obtenir un courant constamment de même sens et isoler entièrement les éléments de l'eau, c'est-à-dire avoir d'un côté 2 volumes d'hydrogène et de l'autre 1 volume d'oxygène.

Appareil de Clarke. — L'appareil que Pixii avait construit pour les cours de la Faculté des sciences de Paris, et que nous venons de décrire dans ses parties essentielles, a été modifié par plusieurs constructeurs. La modification la plus importante, introduite par Clarke, de Londres, est que le faisceau aimanté reste fixe et que c'est l'électro-aimant qui tourne. (V. MACHINE, *Machine de Clarke*.)

Avec l'appareil de Clarke on obtient tous les effets physiques, chimiques et physiologiques des courants voltaïques ordinaires; il ne s'agit que de varier les dimensions des fils des bobines.

Bobine d'induction de Ruhmkorff. — En 1851, M. Ruhmkorff eut l'idée de produire des courants d'induction dans une bobine de grande dimension et à deux fils. Le succès a été des plus remarquables, et il n'a fait que s'accroître de jour en jour, tant par les perfectionnements apportés à l'appareil que par les heureuses applications qui en ont été faites. Au mois de juillet 1864, le prix de 50,000 francs destiné à récompenser l'application la plus utile de l'électricité fut justement décerné à M. Ruhmkorff, pour sa belle invention de la bobine d'induction.

Cet appareil se compose de deux bobines superpo-

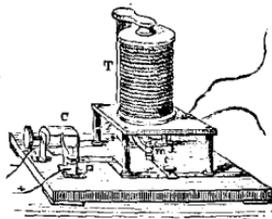


Fig. 4.

sées. La première est formée d'un gros fil de 2 millimètres et demi de diamètre, faisant 300 tours environ; c'est le fil *inducteur*. L'autre bobine est formée d'un fil d'un quart de millimètre de diamètre, et d'une longueur relativement très considérable; elle est de 4 à 5 kilomètres; c'est le fil *induit*. Il est enroulé sur le premier, dont il est isolé par une couche assez forte de caoutchouc ou de gomme laque. Un courant développe dans la première bobine donne un courant inverse en commençant, puis un courant direct en cessant. On peut facilement avoir un *INTERRUPTEUR* qui marche par l'effet du courant lui-même. Imaginez qu'un marteau oscillant *m* soit intercalé par l'intermédiaire d'une tige de fer T dans le circuit du fil inducteur, et que l'axe de la bobine renferme un cylindre de fer doux (fig. 4). Quand le courant sera établi,

le cylindre s'aimante et attirera la petite masse de fer doux qui forme le marteau. Mais alors, le marteau n'étant plus en communication avec le petit cylindre *e*, qui communique avec une des électrodes d'une pile de Bunsen, le courant s'arrêtera. Le noyau de fer doux reviendra à l'état naturel. Le marteau, n'étant plus attiré, retombera sur *e* et rétablira le courant. Le cylindre de fer doux de la bobine s'aimantera de nouveau et attirera de nouveau le marteau pour l'abandonner encore. Le but de l'emploi du marteau, comme on le voit, est d'avoir une interruption successive du courant, et d'obtenir, à chaque interruption, un courant d'induction alternativement direct et inverse dans la bobine induite. Un petit ressort appuyé sur le marteau pour empêcher l'adhérence avec le cylindre de fer doux. La bobine, dont nous donnons le dessin, est placée sur un plateau de verre épais, qui l'isole. Le pôle positif d'une pile, formée

de deux ou trois couples de Bunsen, étant appliqué en *P* sous une vis de pression qui, par une lame conductrice, communique avec le commutateur *C*, le courant rencontre en *f* le gros fil de la bobine, arrive en *F* à son autre extrémité, monte dans la colonne de fer *T*, rencontre le marteau oscillant qui est successivement en contact avec un conducteur *e* ou qui en est éloigné. Au moment du contact de *m* avec *e*, le courant gagne le commutateur et retourne à la pile. Pour augmenter la puissance de la bobine, on interpose un condensateur dans le circuit inducteur. Ruhmkorff a fait construire des bobines de diverses formes et de diverses dimensions.

Le courant induit qui se produit pour un courant inducteur donné, présentant des périodes déterminées d'état variable, dépend des conditions du circuit induit : la quantité d'électricité est proportionnelle à la résistance de ce circuit induit et on peut en déduire

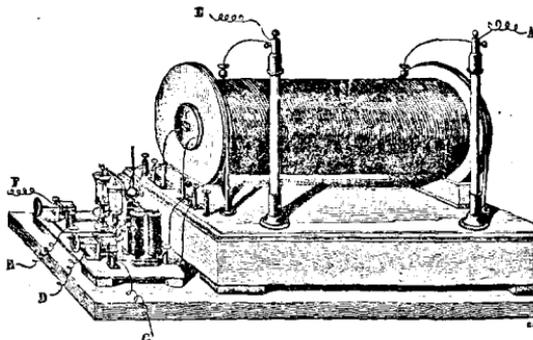


Fig. 5. — Bobine de Ruhmkorff cloisonnée, avec Interrupteur Foucault séparé de la bobine. (Dueretel.)

que la force électromotrice mise en jeu dans la bobine est proportionnelle au carré de cette résistance et en raison inverse de la durée du courant produit. Il y a donc intérêt à augmenter la longueur et à diminuer la section du fil induit sans dépasser toutefois une certaine limite, car si la résistance de chaque spire devient trop grande et si le fil est trop fin, il se produira un échauffement qui détériorera l'isolant qui sépare les diverses spires. Dans les anciennes bobines, l'enroulement du fil induit se commençait à une extrémité de la bobine et se continuait jusqu'à l'autre extrémité; dans la couche suivante, le fil revenait à son point de départ, de sorte qu'à cet endroit la longueur du fil séparant deux spires superposées pouvait être très grande, la différence de potentiel entre ces deux spires était, par suite, considérable. Des étincelles pouvaient se produire. Pogendorf signala cet inconvénient, il indiqua l'intérêt qu'il y aurait à employer des bobines de moindre longueur en en multipliant le nombre. On satisfait pratiquement à cette condition en construisant des bobines cloisonnées. La bobine est partagée dans le sens de sa longueur par un certain nombre de cloisons isolantes (des lames de verre, par exemple, placées transversalement). Entre deux cloisons consécutives on enroule le fil à la manière ordinaire; on met dans chaque fraction un nombre impair de couches, de façon que le fil qui commence à une extrémité,

sorte à l'autre extrémité de la périphérie; dans la fraction suivante l'enroulement se fait inversement. On peut donc facilement réunir les fils de deux sections voisines et constituer une bobine induite unique ne présentant en aucun point une grande différence de potentiel entre deux spires voisines. Cette disposition n'offre d'ailleurs de réel intérêt que pour les bobines de grandes dimensions. Dans ces bobines on ne voit pas le cloisonnement, parce qu'elles sont recouvertes dans toute leur étendue d'une enveloppe isolante. Les dimensions du fil inducteur varient, de même que celles du fil induit, suivant les effets que l'on veut obtenir. Il y a, du reste, une relation entre les dimensions de ces deux fils. Le diamètre du fil induit est uniformément de 0^m,000016, et celui du fil inducteur varie de 0^m,0013 à 0^m,002. Dans les bobines de modèle courant l'induit a une longueur de 1,000 à 1,800 mètres et l'inducteur de 6 à 35 mètres.

La fig. 5 donne la vue d'une bobine d'induction cloisonnée, avec interrupteur Foucault séparé de la bobine. Dans cet interrupteur ce n'est pas le courant inducteur, mais celui d'une pile locale qui assure les interruptions dont on peut faire varier le rythme et les conditions entre certaines limites. De plus, la rupture du courant inducteur, au lieu de se faire entre deux pièces métalliques qui viennent au contact, comme dans le modèle primitif représenté fig. 4, se fait par une pointe qui plonge dans un godet de

mercure et qui, en se relevant, produit la rupture. Pour éviter qu'au moment de cette rupture le mercure ne se vaporise, on le recouvre d'une couche d'alcool. Ceci posé, il est facile de se rendre compte du mode de construction de cet interrupteur. Il comprend une tige verticale à ressort oscillant dans un plan vertical; la durée de cette oscillation peut être modifiée par le déplacement d'un contrepoids que l'on fixe à différentes hauteurs à l'aide d'une vis de pression. Cette tige porte à mi-hauteur une branche horizontale qui est terminée à son extrémité par une traverse de fer doux placée au-dessus d'un électro-aimant. Cette traverse est attirée par l'électro lorsqu'un courant le parcourt; quand le courant est interrompu, l'attraction cesse et le système oscillant revient à sa première position en vertu de l'élasticité de la tige verticale; il dépasse même cette position à cause de sa vitesse acquise. Du côté opposé de la traverse de fer doux la branche horizontale est armée de deux pointes verticales qui plongent chacune dans un godet contenant du mercure recouvert d'une couche d'alcool. Le mercure est relié à l'un des pôles d'une pile, l'autre pôle étant en communication avec la traverse, de sorte que lorsque l'interrupteur ne fonctionne pas, la pointe ne plongeant pas dans le mercure, aucun courant ne passe; mais dès que l'interrupteur oscille, la pointe entrant et sortant alternativement du mercure, le circuit de la pile sera alternativement fermé et rompu. La pile locale se compose de un ou deux éléments Bunsen. Son pôle négatif est en relation avec l'électro-aimant, et, par la tige verticale et la branche horizontale de l'interrupteur, avec l'une des pointes qui arment cette branche. Le pôle positif est en communication avec le mercure dans lequel plonge la pointe. On comprend que le mouvement oscillant de l'interrupteur puisse se maintenir, car le courant de la pile locale passera juste au moment où le système oscillant sera à l'une des extrémités de sa course, or ce courant, en animant l'électro-aimant, force le système à osciller en sens contraire; la pointe sort alors du mercure, le courant est interrompu, l'électro-aimant est inactif et le système bascule en vertu de son élasticité, et ainsi de suite.

La pile qui fournit le courant inducteur a l'un de ses pôles en relation avec le mercure contenu dans le deuxième godet et l'autre avec une des extrémités du fil inducteur. La deuxième extrémité de ce fil inducteur est reliée avec la tige verticale de l'interrupteur et, par suite, avec la deuxième pointe. Il en résulte que le courant inducteur passe chaque fois que cette pointe plonge dans le mercure et est interrompu chaque fois qu'elle en sort.

Des bobines construites ainsi que nous venons de l'indiquer et ayant une longueur de 0^m,40 à 0^m,45 et un diamètre de 0^m,20 sont déjà très puissantes.

L'appareil servant à accumuler l'électricité sur un point donné, ses effets n'en sont que plus dangereux. Il est donc prudent de prendre les précautions nécessaires pour se garantir de l'ÉTINCELLE. On s'est servi de cette machine énergique pour l'explosion des mines. Au moyen d'une fusée convenablement préparée, on peut faire éclater une mine à une grande distance, et les ouvriers se mettent ainsi à l'abri de tout péril. Si l'on joint les extrémités de la spirale induite par un fil de fer, il fond et brûle avec une vive lumière. Non seulement on obtient la décomposition de l'eau avec la bobine, mais on peut produire une flamme électrique qui réalise au sein de l'eau les effets que l'histoire attribue au feu grégeois. Dans les expériences faites dans les cabinets de physique on produit des étincelles de 0^m,50 à 1 mètre de lon-

gueur, et l'on traverse facilement un bloc de verre de plusieurs centimètres d'épaisseur, sans en altérer la surface, qui reste parfaitement lisse. Il ne reste pour trace du passage du fluide électrique dans le verre qu'une suite de déchirures ressemblant à de fines dentelles. Les effets lumineux dans l'air et surtout dans le vide sont extrêmement remarquables. Tous les phénomènes, enfin, que l'on manifeste avec l'appareil dont nous parlons confirment l'intimité qui existe entre la roue et les symptômes électriques que nous provoquons et observons dans nos laboratoires. Si l'on fait communiquer les fils induits avec les deux extrémités d'un œuf électrique (ellipsoïde de verre dans lequel on fait le vide à volonté), il se produit dans l'intérieur, privé d'air, une traînée lumineuse qui jaillit d'un pôle à l'autre. On peut provoquer cette lumière avec un seul pôle de la bobine, en appliquant convenablement le long des parois de l'œuf un objet quelconque communiquant avec le sol, soit même le doigt, si l'on n'est pas isolé. D'après les observations de M. Quel, la lumière électrique apparaît sous la forme d'une série de zones alternativement brillantes, ou obscures, quand on fait le vide dans l'œuf après y avoir introduit de la vapeur d'essence de térébenthine, d'alcool, de sulfure de carbone, etc. C'est un phénomène désigné sous le nom de *stratification de la lumière électrique*.

Les courants des appareils d'induction paraissent tenir à la fois des courants voltaïques et des effets des machines statiques; car, dans les piles, la tension est faible, mais la quantité d'électricité développée est très grande, tandis que, dans les machines électriques ou machines à plateau de verre, la tension est considérable relativement à la quantité d'électricité. Les courants induits sont supérieurs aux courants voltaïques pour la tension, mais ils leur sont inférieurs pour la quantité; ils se rapprochent donc des machines statiques par la tension, et des piles par la quantité, ce qui leur donne un double avantage dans bien des cas.

Induction produite par un circuit fermé soumis à l'action de la terre.

On peut produire des courants induits sous l'influence de la terre, au moyen d'un grand multiplicateur mobile autour d'un axe horizontal, perpendiculaire à la direction de ses génératrices. Quand le multiplicateur, en tournant, prend et quitte la position de l'aiguille d'INCLINAISON, il se forme instantanément un courant induit. La terre agit en ce cas comme un puissant aimant dont la direction serait celle de l'aiguille d'INCLINAISON, c'est-à-dire, suivant la doctrine d'AMPÈRE, comme un circuit de courants électriques dirigés de l'est à l'ouest parallèlement à l'ÉQUATEUR MAGNÉTIQUE. Palmieri et Sauti-Linat ont les premiers qui aient obtenu des indices de l'induction terrestre. Ils n'ont pas seulement produit des déviations du galvanomètre par la seule action inductrice du globe sur une bobine de fil de cuivre, mais ils sont parvenus à faire jaillir des étincelles et à provoquer des décompositions chimiques.

Action inductrice d'un courant sur lui-même. — Quand avec quelques couples de Bunsen on constitue une pile dont les pôles sont accompagnés d'électrodes d'un certain développement, et qu'avec les deux mains mouillées on touche les extrémités de ces électrodes, on n'éprouve qu'une faible secousse; mais si le fil par lequel passe le courant voltaïque est recourbé en hélice à spires très rapprochées et isolées les unes des autres, la secousse devient plus forte; si enfin on introduit dans l'hélice un barreau de fer doux, l'effet acquiert une très

grands intensité. Ce phénomène, remarqué par M. Henry, a été étudié par Faraday, qui a démontré qu'il était dû à un courant instantané, appelé *extra-courant*, qui parcourt, dans le sens de celui de la pile, le conducteur interposé, et produit des effets d'autant plus puissants que ce conducteur contourné ou disposé en hélice est plus long; ses diverses parties agissent par induction les unes sur les autres. On peut remplacer l'hélice par un galvanomètre; si à chacune des extrémités du fil d'une bobine simple on soude une plaque de cuivre et qu'on fasse communiquer ces plaques par intervalles au moyen d'un conducteur destiné à recevoir l'extra-courant, on obtient à chaque interruption de vives étincelles et de fortes commotions. La chaleur développée peut fondre le platine.

Les courants induits sont aussi engendrés par l'électricité statique. Le professeur de physique Masson est le premier, parmi les savants, qui ait mis ce point hors de doute, en aimantant une aiguille d'acier par des courants induits qu'il produisait avec de simples décharges de bouteilles de Leyde.

On reconnaît des courants induits de différents ordres. En effet, un courant induit, tout instantané qu'il est, influe sur des circuits fermés et donne naissance à de nouveaux courants induits, qui eux-mêmes réagissent sur d'autres circuits. Le premier courant induit, ayant un commencement et une fin, produit deux courants d'induction, *inverse* et *direct*, du second ordre. Les courants du second ordre, agissant sur un troisième bobine, produisent des courants induits du troisième ordre, et ainsi de suite. Ces courants vont en s'affaiblissant et sont alternativement de sens contraire. C'est d'après les principes que nous exposons qu'est construit et que fonctionne l'appareil électro-médical dont on se sert pour donner des commotions continues et modérables à volonté. On modère l'action du courant en couvrant plus ou moins les bobines par des cylindres de cuivre. (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.)

Le courant inducteur et le courant induit ne furent d'abord observés que sur des fils métalliques distincts, un pour chaque courant. Mais, presque aussitôt après la publication des découvertes de Faraday, quelques physiciens constatarent que les deux courants peuvent se succéder immédiatement sur un même fil rhéophore, pourvu que ce fil soit très long. Voici dans quelles circonstances le phénomène se produit : si, pendant le passage d'un courant électrique dans un circuit très long, on vient à interrompre le courant, on voit au même instant jaillir une étincelle entre les deux rhéophores que l'on a disjoint. Cette étincelle, surtout quand le fil est enroulé sur des bobines et y forme des tours nombreux et rapprochés, est vive, longue et bruyante. Lorsqu'on tient dans les mains les extrémités des deux rhéophores, on ressent, au moment de la rupture du courant, une commotion très forte, dont l'effet surpasse très désagréablement Pouillet, qui ne s'y attendait nullement, pendant qu'il expérimentait, en 1832, avec l'électro-aimant de la Sorbonne. Quelle est la cause de cette étincelle? Faraday l'attribue à un courant induit instantané, produit dans le circuit inducteur même par le fait de la rupture, et il a proposé de l'appeler *extra-courant*. Comme les mêmes phénomènes furent reconnus, à peu près vers le même temps, par plusieurs observateurs, on les rencontre quelquefois désignés par des noms différents, tels que *induction rétrograde*, *induction d'un courant sur lui-même*, *réaction des fils d'une hélice*, *contre-courant*, etc. On peut donc définir l'extra-courant un courant induit qui succède instantanément, et dans le même fil, au courant inducteur interrompu.

Pour mettre en évidence l'extra-courant, Faraday

faisait l'expérience suivante. Un courant émané de la pile P traverse l'hélice H et peut être rompu en O (fig. 6). En deux points du circuit on a soudé deux fils, f, f' , de façon que le premier fil est entre la pile et le point de rupture O, et que le second fil est entre l'hélice et le même point O. Au moment où l'on ouvre le courant, en O, on voit apparaître entre les deux fils f et f' une vive étincelle, qui peut produire les différents

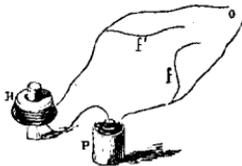


Fig. 6.

effets de l'étincelle électrique. Quand l'hélice et la pile sont toutes deux du même côté du système ff' , l'extra-courant a dans l'hélice le même sens que le courant inducteur; il marche dans un sens contraire quand l'hélice et la pile ont entre elles les points de soudure des fils ff' .

Faraday a encore prouvé, par une autre expérience, que l'introduction d'un courant dans une hélice peut y développer un extra-courant.

L'extra-courant est soumis aux mêmes lois et possède les mêmes propriétés que les courants d'induction ordinaire.

INDUCTION (Lois de l'). — Les phénomènes fondamentaux de l'induction ont été découverts par Faraday, qui a reconnu le premier que lorsqu'un courant s'établit ou cesse dans un conducteur, il se développe au même instant des courants de courte durée dans des conducteurs voisins.

1° Induction par des courants parallèles. — Imaginons qu'on dispose parallèlement l'un à l'autre deux conducteurs rectilignes dont l'un est traversé par le courant d'une pile et l'autre est en communication avec un galvanomètre. Rapprochons vivement les deux circuits, il se manifestera dans le conducteur communiquant avec le galvanomètre un courant d'induction circulant en sens inverse du courant de l'autre conducteur. Ce courant d'induction inverse est dit *commotion*.

Lorsqu'on laisse les deux conducteurs dans leur nouvelle position, on voit l'aiguille du galvanomètre revenir immédiatement au zéro, ce qui montre que le courant d'induction a eu une durée très courte.

Eloigne-t-on les deux conducteurs, un nouveau courant d'induction fait dévier l'aiguille, et cette fois ce courant a le sens du courant inducteur; on l'appelle courant *faisant* ou *direct*. Il cesse d'ailleurs en même temps que le mouvement donné aux deux conducteurs.

Supposons maintenant qu'on laisse les fils dans une position invariable et qu'un courant ne les traverse d'abord; puis lançons tout à coup le courant d'une pile dans l'un d'eux : il se produira immédiatement dans l'autre un courant induit inverse. Si l'on surprime le courant, on fait naître un courant induit direct. Enfin on peut faire varier l'intensité du courant qui traverse l'un des fils; on constate dans ce cas que si l'intensité augmente il y aura apparition d'un courant inverse, et si elle diminue, apparition d'un courant direct. L'intensité du courant induit est d'au-

tant plus grande que la variation d'intensité est plus considérable et qu'elle dure moins de temps.

2° Induction par des courants non parallèles. — On se rendra compte de ces phénomènes par les expériences suivantes :

Prenons, par exemple, une bobine formée par un fil très fin enroulé autour d'un tube de carton et communiquant avec un galvanomètre; puis une seconde bobine formée d'un fil plus gros et plus court, et qu'on introduit dans la première; le fil de cette bobine est en communication avec une pile de manière qu'elle serve de bobine inductrice. Enfin cette bobine contient un noyau central constitué par un faisceau de cylindres de fer doux. Enlevons d'abord le noyau. Il ne reste alors en présence que deux fils enroulés à spires parallèles, dont l'action sera beaucoup plus intense que celle de deux fils parallèles; et en effet, si on éloigne la bobine intérieure, un courant induit inverse apparaît immédiatement dans la bobine extérieure et fait dévier l'aiguille. Si on l'approche, au contraire, il y a production d'un courant direct.

Des phénomènes analogues ont lieu lorsqu'on augmente l'intensité du courant inducteur ou qu'on la diminue, ou quand on lance le courant ou bien quand on le supprime dans la bobine inductrice.

L'assimilation des solénoïdes aux aimants permet de prévoir qu'un aimant produira le même effet qu'une bobine. C'est ce qu'on vérifie par l'expérience. Un barreau aimanté introduit dans la bobine induite y développe un courant inverse qui a le pôle austral à sa droite. Retiré, il développe un courant direct.

Reprenons les deux bobines et introduisons le noyau de fer doux. Il s'aimante et produit le même résultat que le barreau aimanté.

Lorsqu'on rend la bobine inductrice et le noyau de fer doux solidaires et qu'on fait varier la distance ou l'intensité du courant inducteur, les deux inductions s'ajoutent et l'on a dans la bobine extérieure un courant d'une intensité beaucoup plus considérable.

Loi de Lenz. — En étudiant l'induction produite par les déplacements de courants, Lenz est arrivé à la loi suivante :

Toutes les fois qu'on produit un déplacement entre un courant et un circuit fermé à l'état naturel, ce circuit est traversé par un courant inverse de celui qui produirait le déplacement.

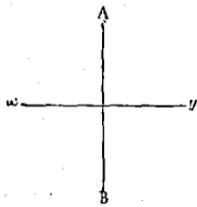


Fig. 7.

1° Il résulte de la loi précédente que si l'on a un conducteur qui soit *ASTATIQUE* par rapport au courant, tout déplacement qu'on lui imprimera ne pourra développer en lui aucune induction. Tel est le conducteur AB assujéti à se mouvoir perpendiculairement à sa direction et qui se divise en deux parties égales par le courant x, y (fig. 7).

2° Dans l'expérience de la roue de BARLOW, on sait que le courant qui monte de l'extrémité des dents

vers le centre, soumise à l'action des pôles d'un aimant disposés des deux côtés de la roue dans le sens convenable imprime à cette roue un mouvement de rotation. Si donc d'après la loi précédente on donne à la roue le même mouvement par un moyen mécanique, un courant d'induction continue s'y développera dans le sens opposé au premier.

3° Considérons maintenant un circuit fermé mobile autour d'un axe et qui sous l'influence d'autres courants, tels que solénoïdes et aimants, se place dans une position déterminée et se retourne de 180° quand le sens du courant change. Si on éloigne ce circuit de sa première position d'équilibre, il se développe à son intérieur un courant d'induction qui tend à le ramener à son point de départ, et lorsqu'on ramène le circuit, au contraire, le courant d'induction est de sens opposé. Si donc on imprime au circuit un mouvement de rotation continue, il y aura production d'une série de courants qui changeront de sens à chaque demi-révolution. C'est ce qui se produit par exemple quand on fait tourner un solénoïde à l'état naturel en face d'un aimant d'un solénoïde traversé par un courant.

Action de la terre. — Pour manifester cette action, on se sert d'un cadre circulaire sur lequel est enroulé un fil de cuivre et qu'on fait tourner autour d'un diamètre au moyen d'une manivelle. On peut incliner l'axe de rotation au moyen d'une charnière. Les deux extrémités du fil aboutissent à un commutateur pourvu de deux languettes. Si un courant, constant de direction, arrive au fil au moyen de ses languettes, il change de sens dans l'intérieur du fil à chaque demi-révolution. Si, au contraire, il se produit dans le fil un courant changeant de sens après une demi-révolution, ce courant aura une direction constante après avoir traversé les languettes.

Plaçons l'axe de rotation horizontalement de l'ouest à l'est, et faisons passer un courant dans le fil : le cadre se mettra en équilibre sous l'action de la terre dans un plan perpendiculaire à la direction de l'aiguille d'inclinaison. Si, au contraire, aucun courant ne passe dans le fil et qu'on fasse tourner l'appareil autour de son axe, il se produira dans ce fil des courants d'induction changeant de sens à chaque demi-révolution et qui donneront un courant de direction constante dans un fil réunissant les languettes à un galvanomètre. Mais si on dispose l'axe de l'appareil

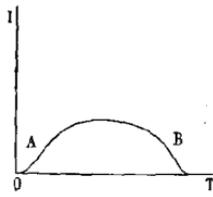


Fig. 8.

parallèlement à l'aiguille d'inclinaison, il n'y aura aucun courant induit.

Lorsqu'un courant d'induction se produit, il ne persiste que pendant un temps très court. Durant cette période son intensité n'est pas constante : elle commence par croître jusqu'à un maximum où elle se maintient quelque temps, puis elle décroît jusqu'à devenir nulle.

Soit AB (fig. 8) la courbe des intensités, l'aire de

cette courbe représentera la quantité d'électricité qui aura passé dans le fil.

$$\int_0^t i dt = q$$

est la mesure de cette quantité; t représentant le temps.

Il est évidemment impossible de mesurer à chaque instant l'intensité du courant induit, mais on peut mesurer la quantité q au moyen de l'impulsion que subit l'aiguille aimantée de la part de ce courant.

Soit α l'angle de déviation de l'aiguille. L'équation de son mouvement est

$$M \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \Sigma \omega F.$$

En désignant par M le moment d'inertie de l'aiguille et par $\Sigma \omega$ la quantité totale de magnétisme de l'aiguille. Évaluons $\Sigma \omega F$. Les forces F qui agissent sur l'aiguille sont :

1° L'action déviateur du courant qui est proportionnelle à une certaine constante M et à l'intensité i .

2° L'action de la terre. Le moment du couple terrestre peut se représenter par $c\alpha$ (c étant une constante).

Où a donc

$$Mi - c\alpha = \Sigma \omega F,$$

d'où

$$M \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = Mi - c\alpha.$$

Or, on peut admettre que le phénomène de la déviation de l'aiguille par le courant peut se partager en deux phases. La première, pendant laquelle le courant induit commence, s'établit et disparaît, sans que pour cela l'aiguille exécute son mouvement. Cela revient comme on voit à admettre que l'action mécanique ne commence qu'après que le phénomène physique, cause de cette action, est terminé.

Cela étant admis, on a évidemment dans la première phase

$$M \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = Mi.$$

et, en intégrant entre 0 et t

$$M \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)_{t=1} - M \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)_{t=0} = \int_0^1 M i dt,$$

or,

$$\int_0^1 i dt = q,$$

quantité d'électricité qui passe dans le fil induit. D'ailleurs l'aiguille parlant du repos on a

$$\left(\frac{d\alpha}{dt} \right)_{t=0} = 0.$$

Il reste donc

$$M \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)_{t=1} = Mq.$$

Dans la seconde phase on a $i = 0$ puisque le courant ne passe plus. Donc

$$M \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = c\alpha,$$

et, en intégrant, on a à l'époque T

$$\alpha = A \cos \left(\sqrt{\frac{c}{M}} T \right) + B \sin \left(\sqrt{\frac{c}{M}} T \right).$$

Au commencement de cette deuxième phase on a

$\alpha = 0$, et comme $T = 0$, il faut que $A = 0$. Le maximum de α a lieu pour

$$\sin \left(\sqrt{\frac{c}{M}} T \right) = 1.$$

Pour $\alpha = 0$ on a :

$$\frac{d\alpha}{dt} = B \sqrt{\frac{c}{M}};$$

mais $\frac{d\alpha}{dt}$ est la vitesse initiale et l'on sait d'après ce qui précède sur la première phase que l'on a

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{Mq}{M};$$

donc

$$\frac{M}{M} q = B \sqrt{\frac{c}{M}};$$

d'où

$$B = M \sqrt{\frac{c}{M}} q$$

Mais B est la déviation maximum de l'aiguille. Donc cette déviation est bien proportionnelle à la quantité q d'électricité et peut la mesurer. C'est ce procédé de mesure de q qui a permis de trouver les lois régissant les courants induits :

1° La quantité totale d'électricité circulant dans le fil est proportionnelle à l'intensité du courant inducteur quelle que soit la manière dont on produise le courant induit.

2° Elle est proportionnelle à la longueur du fil induit. Si, en effet, le fil est deux fois plus long, l'action du courant s'exercant sur une longueur deux fois plus grande sera deux fois plus considérable.

Cette quantité totale d'électricité ne dépend pas du temps pendant lequel se fait le mouvement du courant inducteur et pendant lequel l'induction a lieu. Elle ne dépend absolument que des positions extrêmes occupées par le conducteur mobile. Elle ne dépend donc pas non plus du chemin parcouru par le courant inducteur dans le rapprochement ou l'éloignement.

Enfin la quantité d'électricité produite dans l'induction commençante est égale à celle qui se produit dans l'induction finissante. Cette loi se conçoit facilement en admettant l'explication suivante due à Faraday :

Prenez deux fils métalliques, et dans l'un d'eux lancez un courant. Chaque position de ce fil inducteur agira sur les corps voisins par influence et en particulier sur le fil induit. Or, pour que ce fil induit passe de sa position d'équilibre naturel à la position qui lui convient en présence du courant inducteur, il faut qu'il se produise dans l'intérieur de ce fil un certain mouvement d'électricité qui constituera le courant induit. Si, lorsque l'équilibre est établi, on supprime le courant inducteur, un mouvement d'électricité inverse et égal au précédent devra se produire dans le fil induit pour qu'il revienne à son premier état d'équilibre.

Faraday et Matteucci ont fait des expériences qui montrent l'égalité des deux courants induits direct et inverse en faisant passer ces courants dans une dissolution de sulfate de cuivre ou dans de l'eau acidulée.

D'après ce qui précède, on a pour la valeur de la quantité d'électricité induite $q = KIR$, I étant l'intensité du courant inducteur, R la longueur du fil induit,

et K un coefficient constant. On a, en dérivant par rapport au temps

$$\frac{dq}{dt} = KR \frac{di}{dt}$$

Or

$$\frac{dq}{dt} = i$$

donc

$$KR \frac{di}{dt} = i,$$

i représentant l'intensité du courant induit au moment considéré; on voit donc que les courants induits produits par les variations d'intensité du courant inducteur ont à chaque instant une intensité proportionnelle à la dérivée du courant inducteur par rapport au temps.

q étant la quantité du courant induit, $\frac{q}{t} = i$ représentera l'intensité moyenne du courant induit. Ce sera la hauteur d'un rectangle ayant même aire que

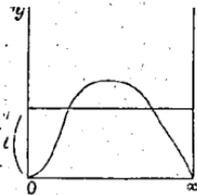


Fig. 9.

la courbe des intensités (fig. 9). Comme q est constant quelle que soit la durée de l'induction, on voit que l'intensité i est inversement proportionnelle à cette durée.

Les courants induits par approche (ou éloignement) d'un conducteur ont une intensité moyenne proportionnelle à la vitesse de déplacement du conducteur. Soit S un déplacement quelconque du conducteur, V la vitesse de déplacement, O la durée de ce déplacement; on a

$$V = \frac{S}{O},$$

d'ailleurs

$$i = \frac{q}{O},$$

donc

$$i = \frac{q}{S} V;$$

q et S étant constants la loi est démontrée.

Induction d'un courant sur lui-même. Extra-courant. — Considérons un fil enroulé sur une bobine et deux spires voisines de ce fil. Quand le courant s'établit dans l'une, celle-ci, réagissant sur l'autre, y produira un courant induit inverse qui diminuera l'intensité du premier, puis-qu'il passe dans le même circuit. Il en résulte que le courant lancé dans la bobine ne pourra s'y établir que progressivement. Il croîtra peu à peu jusqu'à une valeur constante. Cette valeur atteinte, il n'y a plus d'induction. Si l'on rompt le circuit, de nouveaux courants d'induction se produisent dans les spires. Mais cette fois ils sont directs et ajoutent leur intensité à celle du courant principal. De là le redouble-

ment d'intensité que l'on observe quand on rompt le circuit et qui produit l'étincelle forte et vive jaillissant entre les deux bouts du fil. Cette étincelle s'appelle *étincelle d'induction*, parce qu'elle ne se produit que dans ces circonstances.

Le courant d'induction qui se manifeste dans la bobine s'appelle l'*extra-courant*.

Il y a, d'après ce qui précède, trois périodes à considérer :

1° La *période d'établissement*, qu'on peut repré-

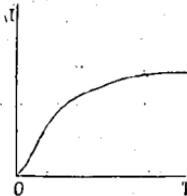


Fig. 10.

senter par une courbe dont les ordonnées croissent jusqu'à une certaine valeur (fig. 10, et fig. 11, partie AB).

2° La *période de durée* BC (fig. 11), pendant laquelle l'ordonnée reste constante.

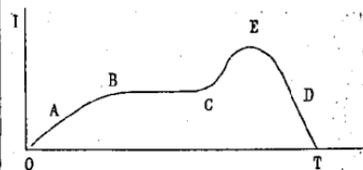


Fig. 11.

3° La *période finale*, dans laquelle se produit un redoublement d'intensité et qui est représentée par une courbe CED (fig. 11).

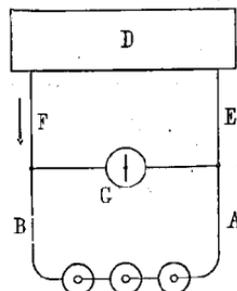


Fig. 12.

Faraday a démontré l'existence de l'extra-courant de la manière suivante :

Dans un circuit comprenant une pile et une bobine D (fig. 12) il introduisait une dérivation com-

prenant un galvanomètre G. L'aiguille de cet instrument déviât d'un certaine quantité. Il plaçait derrière elle un arrêt pour l'empêcher de revenir au zéro; il rompait le circuit, puis il rétablissait la communication. Alors le courant induit qui se produisait dans la bobine s'opposant au passage du courant de la pile, la partie de ce courant qui passait dans le galvanomètre était plus forte que lorsque le courant était complètement établi. Il en résultait que l'aiguille était chassée au delà de sa première position. Faraday arrêtait ensuite l'aiguille au zéro au moyen d'un obstacle, de manière à l'empêcher de dévier dans le premier sens; puis il rompait le courant. L'extra-courant qui se produisait alors traversait le circuit fermé DEGF... en sens inverse du courant dérivé. L'aiguille était donc chassée de sa position et déviée dans le sens opposé au premier.

INDUCTION SOLAIRE. — Action induite du soleil sur les rayons électriques de la terre. M. Quet fit connaître en 1878 que l'une des forces élémentaires du soleil sur les fluides électriques de la terre avait un jour solaire moyen pour période, avec une inégalité horaire d'un an, qu'une autre avait pour période la durée de la relation apparente du soleil autour de son axe vue de la terre, etc. Ces périodes se retrouvent dans les observations faites avec les boussoles magnétiques. M. Quet, examinant séparément les forces élémentaires afin d'en déterminer plus aisément les caractères, a formulé la proposition suivante :

« La force d'induction produite par un système quelconque de courants électriques sur une particule m de fluide électrique positif est perpendiculaire à la vitesse relative uv de cette particule et à la direction od de la ligne de force qui passe par le point o du champ magnétique; elle est dirigée vers la gauche de la vitesse personnelle et dirigée vers la gauche de la vitesse personnelle et dirigée vers la gauche de la vitesse personnelle et dirigée vers la gauche de la vitesse personnelle; enfin elle est mesurée par l'aire du parallélogramme construit sur ou et od ; si f désigne cette force, on a $f = mdu \sin \alpha$, α étant l'angle uod .

« Dans le cas où le soleil agit sur la terre, l'action sur la masse m placée au centre du globe sera dirigée du centre de la terre vers le centre du soleil ou en sens contraire, suivant qu'il s'agit de l'électricité positive ou négative, ou bien suivant que le pôle magnétique austral du soleil est au nord ou au sud de l'équateur.

« Pour tous les autres points de la terre, les forces analogues seront sensiblement égales et parallèles à la précédente. A chaque instant les fluides électriques du globe sont donc soumis à deux systèmes de forces, qui convergent les unes vers le centre du soleil et les autres vers le point opposé.

« A mesure que la sphère céleste tourne, emportant le soleil qui a, en outre, son mouvement propre, les forces d'induction suivront le soleil ou le point opposé, tourneront avec la sphère céleste et achèveront leur tour en un jour solaire moyen.

« Ces forces conserveront leur intensité, et leur direction subira une variation d'une durée périodique égale à un jour solaire moyen. »

(Académie des Sciences, 20 octobre 1884.)

INDUCTOMÈTRE. — Synonyme de SONOMÈTRE ÉLECTRIQUE. (V. SONOMÈTRE et BALANCE D'INDUCTION.)

INDUCTOPHONE. — Appareil construit en 1882 par M. Dunaud, pour transmettre la parole; il se compose de deux disques de carton sur chacun desquels est collé un fil de cuivre fin isolé, enroulé en spirale. L'un de ces disques est fixé à une plaque de

bois munie d'une emboucheure; l'autre est séparé du premier par un anneau de bois de $m^m 001$ d'épaisseur. En faisant passer dans le fil du premier disque un courant interrompu et en mettant les extrémités du fil du deuxième disque en relation avec les bornes d'un TÉLÉPHONE, on entend dans ce dernier des sons intenses; en laissant passer un courant continu dans le fil du premier disque et en parlant dans l'emboucheure qui le recouvre, on fait parler le téléphone, sinon fortement, du moins distinctement.

INDUIT (Fil). — On désigne ainsi tout fil conducteur soumis à l'influence d'un champ GALVANIQUE ou d'un CHAMP MAGNÉTIQUE et dans lequel toute variation relative, soit de position, soit d'intensité, détermine un courant d'induction. (V. INDUCTION.)

INDUIT d'une machine. — Location abrégée par laquelle on désigne souvent la partie d'une MACHINE ÉLECTRIQUE dans laquelle se développe l'électricité que l'on peut utiliser.

INERTIE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE. — Phénomène qui se manifeste dans les métaux lorsqu'ils sont parcourus par un courant et qui a pour effet de ralentir plus ou moins les transmissions télégraphiques et téléphoniques en modifiant les vibrations électriques. L'amplitude de ces vibrations augmente lorsque le courant diminue d'intensité et diminue lorsque l'intensité augmente.

Certaines personnes désignent ce phénomène sous le nom de *self-induction propre du métal*; mais cette expression n'est pas tout à fait exacte. En effet on appelle SELF-INDUCTION l'action qui se produit dans une bobine parcourue par un courant, action qui a pour résultat de donner naissance à un courant d'induction de sens contraire au courant principal qui parcourt le circuit, lorsque l'intensité de ce courant principal varie.

L'inertie électro-magnétique doit être prise en considération toutes les fois que l'on veut faire de la télégraphie rapide ou de la téléphonie à grande distance sur des lignes en fer.

M. Preece s'est occupé de déterminer le coefficient L de l'inertie électro-magnétique dans les fils télégraphiques et téléphoniques en opérant sur des circuits pourvus d'appareils Wheatstone montés en duplex et en se basant sur ce que les courants employés en télégraphie à grande vitesse diffèrent extrêmement peu au point de vue de la fréquence de ceux qui en téléphonie interviennent dans les sons les plus souvent répétés. (Société royale de Londres, 3 mars 1887. — *Lumière électrique*, t. XXV, n° 41.)

M. Preece a fait des essais sur deux circuits en fer de résistances différentes : l'un fermé de 230 milles de longueur, l'autre avec retour par la terre de 250 milles de longueur, et il a trouvé les résultats suivants :

$$\begin{aligned} \text{1}^{\text{er}} \text{ circuit.....} & \left\{ \begin{array}{l} R = 3.480 \text{ ohms.} \\ R' = 3.560 \text{ —} \\ m = 2 \times 100. \end{array} \right. \\ \text{2}^{\text{e}} \text{ circuit.....} & \left\{ \begin{array}{l} R = 3.900 \text{ ohms.} \\ R' = 3.050 \text{ —} \\ m = 2 \times 60. \end{array} \right. \end{aligned}$$

R désigne la résistance totale du circuit pour un courant d'intensité constante au moment de l'observation, et R' la résistance totale observée pour un courant périodique dont la fréquence est $\frac{m}{s}$.

R' est donné par la formule :

$$(1) \quad R' = \sqrt{R + L \cdot m^2}$$

(On sait que quand un transmetteur Wheatstone travaille à 50 mots à la minute on change le sens du courant 20 fois par seconde et on dit que la fréquence p est de 20 par seconde; la fréquence est de 100 pour 250 mots à la minute et la vitesse v est égale à $2 \times p$.)

Si dans la formule (1) on remplace les lettres par les valeurs données ci-dessus et déduits de l'expérience, on obtient pour L , dans le premier cas 0,00517, et dans le deuxième cas 0,0048; moyenne : 0,00498.

En faisant d'autres expériences M. Preece a été conduit à admettre pour L la valeur 0,005 dans le cas du fer et une valeur nulle pour le cuivre. Il a trouvé que le coefficient L varie d'une façon approchée, quand on passe du cuivre au fer dans le rapport :

$\frac{\text{Cuivre}}{\text{Fer}} = \frac{1}{2}$, μ étant pris comme égal à 300 pour le fil de fer. Si donc on choisit pour L la valeur indiquée plus haut de 0,005 pour le fer, on trouve que pour le cuivre $L = 0,000168$ valeur négligeable.

D'après M. Ewing F. K. S., pour du fer très doux soumis à de fortes vibrations, μ peut aller jusqu'à 20.000, et pratiquement on peut prendre $\mu = 1.000$, ce qui donne alors pour L (dans le cas du cuivre) $L = 0,000.003$.

En résumé, le cuivre ne présente aucune inertie électro-magnétique, ce qui rend ce métal précieux pour la télégraphie et indispensable pour les conducteurs téléphoniques.

INFLUENCE ÉLECTRIQUE. — Il suffit qu'un corps, surtout s'il est conducteur, soit placé dans le voisinage d'un corps électrisé pour qu'il soit lui-même électrisé; c'est là ce qui constitue l'influence électrique.

On démontre ce phénomène par l'expérience suivante :

On fait agir une sphère électrisée A sur un cylindre horizontal BC isolé, terminé par des calottes sphériques d'une grande longueur et de plus petit diamètre que la sphère.

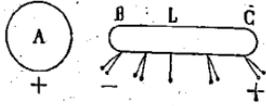
On attache à sa partie inférieure un certain nombre de paires de pendules à fils de lin et à boules de moelle de sureau.

On voit que lorsqu'on approche la sphère A de ce cylindre presque tous les pendules divergent.

Toutefois les divergences des diverses paires de pendules sont très inégales. Elles sont maxima aux deux extrémités et nulles dans le voisinage du milieu.

On remarque de plus que les boules voisines de la sphère sont attirées par elles, tandis que celles qui sont à l'extrémité opposée sont repoussées.

L'extrémité du cylindre voisine de la sphère est



donc chargée d'électricité de signe contraire, et l'extrémité la plus éloignée, d'électricité de même nom que celle de la sphère.

L'électricité développée par influence sur un conducteur peut agir de même sur un deuxième conducteur, et ainsi de suite.

L'influence est d'autant plus grande que la distance est plus faible. Quand on éloigne la sphère influente, tous les pendules du cylindre BC se rapprochent, et la ligne neutre tend à se placer au milieu du cylindre. Quand on rapproche la sphère, les pendules se re-

poussent de plus en plus, et la ligne neutre se rapproche du corps influent.

Étincelle électrique. — Si on rapproche suffisamment le corps influent du corps influencé, on voit une ÉTINCELLE jaillir entre eux. Alors tous les pendules du corps influencé se mettent à diverger et l'on reconnaît qu'il demeure chargé d'électricité de même nom que celle du corps influent. La charge de celui-ci a en même temps diminué, et l'expérience montre que les choses se sont passées comme si une certaine quantité de l'électricité du corps influent était passée sur le corps influencé.

Explication élémentaire du phénomène. — Si on considère un système de conducteurs renfermant une certaine quantité d'électricité libre, il faut, pour que l'équilibre existe, que la résultante des forces électriques soit nulle en tous les points de chacun des conducteurs.

Reprenons notre sphère et notre cylindre, et considérons un élément de fluide neutre situé en un point quelconque du cylindre.

L'électricité négative sera attirée du côté de la sphère supposée chargée positivement, l'électricité positive sera repoussée par elle. Les deux fluides tendront à se séparer, et la décomposition continuera jusqu'à ce que l'action de la sphère soit annulée par celle des masses électriques mises en liberté aux deux extrémités du cylindre.

Il résulte de cette explication que la somme algébrique des quantités d'électricité mises en liberté, sur un conducteur isolé, par l'influence d'un corps électrisé doit être nulle, et c'est ce que l'expérience démontre.

Cas particulier important. — Faraday a énoncé le théorème suivant, dont on trouvera la démonstration à l'article POTENTIEL ÉLECTRIQUE.

« Quand un corps électrisé A est entouré complètement par un conducteur B de forme quelconque, il se produit par influence sur la surface interne de ce conducteur une couche électrique, de masse égale et de signe contraire à celle du corps influent, dont la distribution dépend de la position et de la forme du corps électrisé, et, sur la surface externe du conducteur, une couche électrique de même masse distribuée régulièrement, comme s'il n'y avait pas d'électricité à l'intérieur. Si le conducteur B est mis en communication avec le sol, la couche externe disparaît. Les couches internes ne sont pas modifiées et n'exercent aucune action sur un point extérieur. »

Lorsque le corps extérieur entoure le corps intérieur sans l'envelopper entièrement, les conséquences de ce théorème demeurent approximativement vraies.

Ainsi, on soustraira un conducteur à l'influence d'un corps électrisé en interposant entre eux une surface métallique en relation avec le sol. C'est ce qu'on appelle un ÉCRAN ÉLECTRIQUE.

Si à l'intérieur d'un corps électrisé on introduit un conducteur et qu'on le mette un instant en relation avec le sol, ce conducteur se chargera d'une quantité d'électricité sensiblement égale et de signe contraire à celle du corps influent.

C'est sur ces deux propriétés qu'est basée la théorie des machines électriques à influence.

Si, au lieu d'employer des corps bons conducteurs, on voulait répéter les mêmes expériences avec des corps mauvais conducteurs, on constaterait des phénomènes analogues, mais d'une intensité très faible et croissant avec le temps. On n'observerait rien avec des corps parfaitement ISOLANTS; mais il n'en existe pas dans la nature, et une force électrique, même faible, finit toujours par amener avec le temps la dé-

composition du fluide neutre sur les isolants dont nous pouvons disposer.

INJECTION des poteaux télégraphiques. — Procédé de conservation employé pour les bois des poteaux télégraphiques.

INSECTE ÉLECTRIQUE. — Insecte qui, comme les poissons torpilles et les anguilles électriques, produisent au toucher des chocs plus ou moins violents. D'après l'*Electrician*, deux exemples d'insectes capables d'occasionner des secousses électriques ont été signalés en 1881 à la Société entomologique de Londres. Un scarabée de l'espèce des *Elatéridæ* a donné à une personne une secousse électrique violente qui a été ressentie jusque dans le coude. L'autre cas est celui d'une grande chenille lépidoptère venue de l'Amérique du Sud. Le capitaine Blakeney, en touchant cette chenille, reçut un choc si violent qu'il perdit l'usage d'un bras pendant un temps assez long et que sa vie fut même en danger.

INSTALLATION D'UN POSTE ou D'UN BUREAU télégraphique ou téléphonique. — (V. MONTAGE.)

INSTALLATION DES LIGNES télégraphiques et téléphoniques. — (V. LIGNE, FIL et CÂBLE). — On appelle installation lâche celle d'un conducteur posé sur l'ISOLATEUR sans être arrêté à tous les poteaux, et installation fixe celle d'un conducteur arrêté à tous les poteaux.

INSTALLATION ÉLECTRO-MÉDICALE. — L'ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, pour être appliquée en grand, exige un matériel assez considérable, dont l'agencement peut être conçu de différentes manières, et un local présentant certaines dispositions.

Le matériel comprend :

Des appareils de FARADISATION et de GALVANISATION ; ils sont ou portatifs, c'est-à-dire principalement destinés à être employés au dehors, ou fixes ; ces derniers consistent des TABLES D'ÉLECTROTHERAPIE ;
Des instruments de mesure et des accessoires ;
Des MACHINES Gramme à courant continu ;
Des ÉLECTRO-AIMANTS ;
Des machines électriques pour la FRANKLINISATION ;
Enfin des machines pour produire et transmettre la force motrice nécessaire.

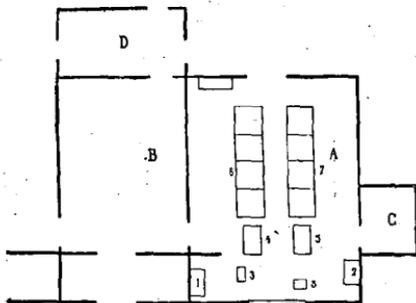


Fig. 1.

L'organisation de ce matériel doit différer suivant qu'il s'agit de la pratique hospitalière ou de la pratique civile. Nous parlerons d'abord des installations d'hôpital et nous prendrons pour type celle de la Salpêtrière, qui est à la fois la plus ancienne, la plus complète et la plus importante.

Dans la fig. 1, A est la salle principale d'électrothérapie ; à gauche est la salle d'attente des malades, B. La salle A contient :

Deux tables d'électrothérapie (1 et 2), la première plus complète ; elles sont masquées par des écrans.

Une machine Gramme de laboratoire (3).

Deux machines électriques (4 et 5), dont l'une est du type Wimshurst et l'autre de Carré.

Deux séries correspondantes de plates-formes isolantes (6 et 7) portant chacune huit sièges pour autant de malades. On peut, à volonté, remplacer les sièges par des lits de transport, des brancards ou des fauteuils. Les pieds de verre des plates-formes sont munis d'un appareil spécial de chauffage (exécuté par M. Wiesnegg) en vue d'obvier aux pertes par l'humidité.

Un moteur Gramme (8), destiné à mettre les trois machines en mouvement. Le courant lui est fourni par une autre machine Gramme, type d'atelier qui se trouve, à environ 150 mètres de distance, dans le ban-

derie de l'hospice. Elle n'absorbe qu'une faible fraction des 15 chevaux de la machine à vapeur de l'établissement. La se trouve aussi une machine à lumière dont le courant est aussi utilisable pour le service d'électrothérapie, mais qui est distribué à l'amphithéâtre des cours pour les projections.

Cet ensemble est complété par un petit cabinet C et un laboratoire D.

Le nombre des malades traités en une séance de trois ou quatre heures est de 250 à 300. Ils proviennent de l'établissement même et des autres hôpitaux. En considération de ce chiffre considérable et toujours croissant, le conseil municipal, sur la proposition du regretté Dr G. Robinet, a voté un supplément de subvention annuelle et la construction d'une nouvelle salle d'électrothérapie. Le plan reproduit ci-dessus figurait à l'Exposition de 1881.

Voici une installation récente, que nous donnons pour montrer comment on peut tirer parti des différentes dispositions locales (fig. 2).

Ici toutes les machines électriques sont du type Wimshurst. Chacune est munie d'un petit moteur Marcel Deprez et d'un réducteur en dérivation permettant de régler, d'une manière indépendante, le courant du moteur et par suite la vitesse de rotation de la machine et son débit. Ces différents moteurs

sont en série dans le CIRCUIT d'une DYNAMO. Celle-ci, placée dans le sous-sol, est actionnée par un moteur à gaz Otto de 4 chevaux. Un rhéostat sert à régler, sans sortir du cabinet, l'excitation de la machine. Dans le cabinet sont ménagées des prises de courant en vue d'emplois spéciaux : lampes à INCANDESCENCE, ÉLECTRO-ALIMENTS, ÉLECTRO-DIAPASON, GALVANO-GAUSTIQUE, etc.

Cette installation et celle de la Salpêtrière ont été faites par la maison Bréguet.

Dans cette description sommaire nous avons à peine parlé de l'origine et de la transmission de la force motrice. On voit qu'elles varient suivant les circonstances. Si on emploie l'électricité, la question se réduit toujours à un problème très simple de trans-

port et de distribution de force. Il faut se rappeler que chaque machine électrique exige environ un dixième de cheval. Lorsque la disposition du lieu s'y prête, on peut avoir recours à une transmission mécanique. On peut aussi utiliser avec avantage, si on est dans le rayon d'une distribution de ce genre, l'air comprimé ou les turbines hydrauliques pour actionner soit des génératrices, soit directement les appareils.

Ce qui précède s'applique aux installations des hôpitaux ou des médecins spécialistes. Il est évident que pour rendre de très réels services l'électricité n'a pas besoin d'être organisée sur une aussi grande échelle. Un médecin qui n'emploie la machine électrique que pour un petit nombre de malades peut très bien se

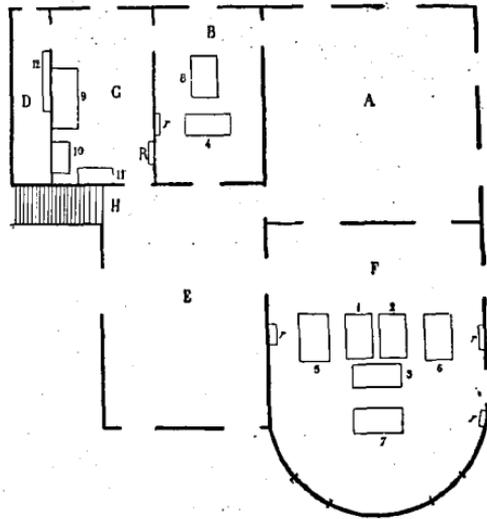


Fig. 2.

- A. Salle d'attente.
- B. C. D. Cabinets.
- F. Salle des machines.
- E. Escalier.
- H. Escalier conduisant au laboratoire et au moteur.
- 1, 2, 3, 4. Machines électriques.
- 5, 6, 7, 8. Tabourets isolants.

- 9. Table d'électrothérapie.
- 10. Grand électro-diapason.
- 11. Table-lit.
- 12. Piles de la table.
- R. Rhéostat du courant d'excitation de la dynamo.
- r, r, r. Rhéostats des petits moteurs des machines.

contenter d'un seul appareil. Le seul avantage qu'il y ait à en avoir deux ou plus est de pouvoir prolonger autant qu'il peut être nécessaire, dans certains cas pendant plusieurs heures, les séances, sans faire attendre outre mesure les autres malades. Si l'on n'a qu'une machine, le plus simple et le plus commode est certainement de la faire tourner à la main. L'aide peut dans ce cas être séparé par une cloison ou un mur que traverse l'arbre de transmission. On peut encore employer un petit moteur à gaz d'un dixième de cheval. M. Vigouroux, qui s'est servi le premier du moteur mécanique pour cet usage, employait d'abord un petit moteur Bisschop (v. *l'Électricité*, 1878). Les ACCUMULATEURS, les PILES avec un petit moteur, fournissent encore une solution. Mais, après expérience, nous trouvons que cela représente bien des

manipulations fastidieuses. Enfin, les petits moteurs à eau ou à air comprimé ou raréfié seront sans doute fort appréciés lorsqu'ils seront plus répandus.

INTEGRATEUR ÉLECTRIQUE. — Appareil indicateur de l'intensité d'un COURANT électrique. Sir W. Thomson a construit un intégrateur gyroscopique qui permet d'intégrer l'énergie d'un courant; il est décrit dans la *Lumière électrique*, t. XI, année 1884.

INTENSITÉ D'AIMANTATION. — Rapport du MOMENT MAGNÉTIQUE d'un barreau aimanté à son volume. (V. AIMANT.)

INTENSITÉ D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE (Détermination de I). — (V. AIMANT.)

INTENSITÉ D'UN COURANT ÉLECTRIQUE. — L'intensité d'un courant électrique est le nombre de coulombs qui traverse le conducteur pendant l'unité de temps.

Le coulomb étant indécomposable (v. UNITÉS ÉLECTRIQUES), l'intensité d'un courant qui parcourt un circuit fermé est constante en tous ses points.

En assimilant l'écoulement de l'électricité à celui de l'eau, comme on le fait souvent, on peut dire que l'intensité d'un courant électrique est comparable à la masse d'eau qui passe dans une conduite pendant l'unité de temps.

L'unité pratique d'intensité se nomme AMPÈRE (v. UNITÉS ÉLECTRIQUES). Elle correspond au passage de 1 coulomb dans l'unité de temps dans un circuit de 1 ohm de résistance sous l'action d'une différence de POTENTIEL de 1 VOLT.

INTENSITÉ DE MAGNÉTISATION. — (Pour la détermination de l'intensité de magnétisation, v. ALMANT.)

INTENSITÉ DU MAGNÉTISME TERRESTRE. — Valeur de la force magnétique terrestre; cette force se décompose en deux autres : une force horizontale et une force verticale. (Pour sa détermination, v. MAGNÉTOMÈTRE.)

INTERCOMMUNICATION. — Système ayant pour but de permettre aux agents des trains de communiquer entre eux au moyen de signaux acoustiques et aux voyageurs de tous les compartiments de communiquer en cas de danger avec ces mêmes agents.

Ce mot désigne aussi tout système ayant pour but de relier télégraphiquement les trains en marche avec les agents des gares.

1° Intercommunication des trains. — Le système le plus ancien d'intercommunication élec-

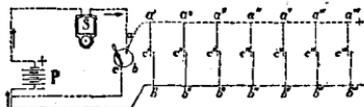


Fig. 1.

trique des trains est celui de Prudhomme; il a été appliqué dès l'année 1865 par la Compagnie du Nord; il est également en usage sur le chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée depuis l'année 1872, et la Compagnie du Midi l'a ensuite adopté.

Le principe du système est très simple; c'est celui des communications électriques employées dans les appartements. Soit (fig. 1) une pile P installée dans l'un des fourgons du train (celui de tête ou de queue, peu importe). Du côté positif de cette pile part une ligne métallique qui traverse une SONNERIE S, qui est reliée à la borne a d'un COMMUTATEUR C et se prolonge en a', a'', a''', a''''... etc.; du pôle négatif de la pile part une deuxième ligne métallique reliée à la borne b du commutateur, et qui se prolonge en b', b'', b''', b''''... etc. Des points a', a'', a''', a''''... de la ligne positive et des points b', b'', b''', b''''... de la ligne négative partent des fils de dérivation qui aboutissent aux commutateurs c', c'', c''', c''''... etc., placés dans les divers compartiments des voitures composant le train et qui permettent de mettre ces fils en contact.

Dans ces conditions, on voit que chaque fois qu'en l'un des points c, c', c'', c''', c''''... le fil positif sera réuni au fil négatif, le circuit de la pile sera fermé, et qu'il se produira, par conséquent, un courant qui actionnera la sonnerie S.

En pratique on place une pile, une sonnerie et un commutateur dans le fourgon de tête et dans le fourgon de queue du train, ce qui permet aux agents qui se trouvent dans ces fourgons de communiquer entre eux et de recevoir les appels des voyageurs. On n'aurait pas besoin, pour arriver à ce résultat, de se servir de deux piles; mais en disposant les choses comme nous venons de l'indiquer, on a eu pour but de se mettre en garde contre un dérangement possible de la première pile et de permettre aux agents d'être prévenus en cas de rupture d'attelage.

Voici maintenant la description succincte des dispositions prises sur les Compagnies du Nord, de P.-L.-M. et de l'Est.

Système de la Compagnie du Nord. — La fig. 2 donne le plan d'un train composé d'une machine, d'un fourgon de tête, de deux voitures à voyageurs et d'un fourgon de queue. Les parois des deux fourgons sont supposées rabattues sur le plan de la figure.

En C on aperçoit les commutateurs d'appel des voyageurs, en S le SIFFLET ÉLECTRO-AUTOMOTEUR employé par la Compagnie du Nord. Deux fils isolés parcourent le train d'une extrémité à l'autre. Ils sont réunis dans chaque fourgon par un circuit comprenant deux piles de 6 couples chacune et de deux sonneries trembleuses spéciales. Ces piles (piles Leclanché) ont leurs pôles de même nom placés en regard; de sorte que dans l'état normal des choses, les sonneries sollicitées par des courants égaux et de sens contraire restent silencieuses, mais si l'on vient à réunir les deux conducteurs en des points intermédiaires, l'équilibre se trouvant rompu, les sonneries tintent d'une façon continue. De chaque côté des wagons, sous la caisse des voitures, est un câble isolé formé de plusieurs fils de cuivre tordus. L'un de ces câbles se bifurque en arrivant à l'arrière et à l'avant du véhicule; une des branches recouvre sur une certaine longueur un anneau de bronze; l'autre branche aboutit à une tige à crochet qui, sous l'action d'un ressort élastique, tend à venir au contact d'un butoir en métal.

L'autre câble relie les deux butoirs placés aux extrémités des véhicules et se prolonge d'un bout à l'autre du train, au moyen des barres d'attelage avec lesquelles il communique; mais, comme ce moyen de communication pourrait manquer, on relie encore le câble par les plaques de garde aux essieux et par suite aux rails.

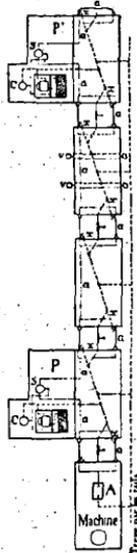


Fig. 2.

La tige à crochet porte vers le bas une gorge cylindrique dans laquelle s'engage l'anneau de bronze, de sorte que ce dernier ne peut remonter. Dans cette position la tige à crochet est écartée du butoir. Sur les parois extrêmes de chaque véhicule se trouvent ainsi un crochet et un câble terminé par un anneau; ces deux organes sont disposés symétriquement de chaque côté de la barre d'attelage, de sorte que, quel que soit le sens dans lequel on tourne les véhicules qui doivent composer le train, il y ait toujours un crochet en regard d'un anneau. Quant aux anneaux placés en avant de la première voiture et en arrière de la dernière, on les engage dans les crochets fixés sur la même paroi, comme le montre la figure.

En résumé, on voit que, lorsque toutes les communications sont établies, il existe sur toute la longueur du train deux conducteurs isolés : le premier *a, a*, qui passe d'une voiture à l'autre au moyen du contact réalisé par l'accrochage des anneaux dans les tiges à crochet; le second *x, x*, qui relie les butoirs de chaque voiture avec les barres d'attelage. Les plaques de garde, les essieux et par suite avec la terre. La pile et la sonnerie trembleuse de chaque fourgon sont contenues dans une boîte que l'on suspend au moyen de deux crochets à un tasseau cloué sur la paroi du véhicule; l'un de ces crochets de suspension est mis en communication avec le pôle positif de la pile, tandis que l'autre crochet est relié électriquement avec la sonnerie et cette dernière au pôle négatif de la pile. Les contacts de tasseau sont mis en relation avec les deux conducteurs qui passent sous les voitures. Chaque fourgon contient, en outre, un commutateur d'appel à lever qui permet aux agents du train de réunir les deux câbles conducteurs et par suite de faire marcher les sonneries. En cas de rupture d'attelage, les anneaux sortent de leurs crochets, retombent sur les butoirs, et le circuit se trouvant ainsi formé, les sonneries tinter. En ce qui concerne l'appel des voyageurs, on a disposé dans l'intérieur de la cloison séparative de deux compartiments successifs une cage triangulaire à parois vitrées; dans l'intérieur de cette cage est un anneau qu'il suffit de tirer (après avoir brisé la vitre) pour actionner un petit commutateur qui ferme le circuit de la pile; en même temps on agit sur un système mécanique qui fait apparaître à l'extérieur des voitures un voyant de forme ovale, *v, v*; les agents savent ainsi d'où est parti l'appel.

Système de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. — Le système d'intercommunication électrique adopté par la Compagnie P.-L.-M. est basé sur le même principe que celui du Nord. Le bouton d'appel placé à la disposition des voyageurs est analogue à celui des sonneries d'appartement.

Système de la Compagnie de l'Est. — Les appareils d'intercommunication électrique adoptés par la Compagnie de l'Est et étudiés par M. Napoli, diffèrent de ceux décrits plus haut par l'absence d'automatisme. On a jugé que cette automatisme était inutile sur un train muni de freins continus automatiques (freins Westinghouse). Le fil de terre, c'est-à-dire la communication à la terre, a été supprimé. On a deux conducteurs disposés chacun le long du train, de chaque côté; ces deux fils sont placés sous les corniches des voitures (fig. 3). Entre ces deux conducteurs on a établi une série de dérivations, savoir : 1° dans chaque fourgon une dérivation comprenant une pile (6 éléments Leclanché) *pp* et une sonnerie *s*; les piles des deux fourgons sont montées en opposition; 2° dans chaque compartiment une dérivation compre-

nant un commutateur à l'aide duquel les voyageurs peuvent fermer le circuit en cas de danger. Les appareils d'accouplement ont été étudiés de façon à rendre les contacts aussi certains que possible. Les commutateurs des wagons et ceux des fourgons présentent des dispositions mécaniques spéciales.

Autres systèmes. — La question de l'intercommunication électrique dans les trains a été étudiée par un grand nombre de personnes; une administration de chemins de fer allemande a essayé, sans l'adopter, le système Swez. Cet inventeur remplaçait les piles par des inducteurs de petites dimensions placés au-dessus des cloisons des voitures et actionnés par des poignées à portée des voyageurs. La tension de la corde d'une poignée avait pour premier effet de placer l'un des pôles de l'inducteur en communication avec la terre en le faisant glisser légèrement sur son axe; le second effet était de dérouler un cordon enroulé sur l'axe de l'inducteur, d'en produire la rotation et de donner ainsi naissance à un courant.

Dans certains systèmes anglais, notamment celui de M. Floyd appliqué au Great Indian Peninsula Railway, chaque voiture porte une petite pile locale dont le circuit se ferme en même temps que les sonneries des fourgons extrêmes se mettent à tinter.

Une des principales objections pratiques faites à l'usage des moyens d'intercommunication électrique est la grande difficulté éprouvée à faire opérer régulièrement la jonction des conducteurs. MM. Preece et Langdon ont alors proposé de combiner les accouplements des freins électriques avec ceux des manœuvres continus de façon à diminuer le nombre des manœuvres nécessaires à la formation des trains. (Ce système est décrit dans la *Lumière électrique*, tome XI.)

Les Compagnies qui emploient le frein à air comprimé (système Westinghouse) peuvent s'en servir pour établir une communication sûre et simple. La Compagnie de l'Ouest français a adopté ce système.

Ajoutons que l'un des principaux inconvénients du système électrique en général consiste dans la difficulté d'isoler les conducteurs assez complètement pour éviter des pertes de courant par dérivation.

2° Intercommunication des trains et des gares. — Le problème consiste à pouvoir télégraphier constamment entre les trains en marche et les gares à l'aide d'un poste contenu dans le fourgon de ces trains et des postes télégraphiques, existant dans ces gares. Toute la difficulté réside dans l'établissement de liaisons électriques offrant toute garantie de continuité et dont le prix ne dépasse pas une certaine limite.

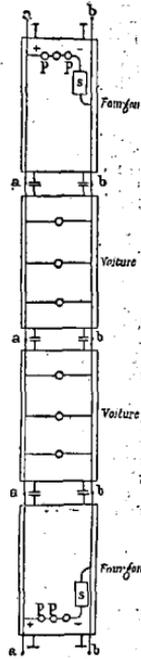


Fig. 3.

Dès le commencement de l'organisation du service télégraphique des chemins de fer, on a cherché à établir une liaison électrique entre les stations et les trains circulant sur la voie, mais aucun de ces systèmes n'a encore été adopté. Nous allons cependant les décrire sommairement.

M. Tyer de Dalton imagina, en 1831, un système de communication entre les stations et les trains basé sur les moyens employés par M. Lartigue pour actionner son SIFFLET ELECTRO-AUTOMOTEUR.

En 1856, M. Bonelli chercha à résoudre le même problème en adaptant entre les rails de chaque voie une bande métallique isolée qui suivait le chemin dans toute sa longueur, avec des fils de liaison correspondant aux stations. Un frotteur placé sous un wagon appuyait sur cette bande et complétait, avec les roues du wagon qui peuvent être considérées comme communiquant avec la terre, le circuit électrique dont la seconde partie était constituée, d'autre part, par un fil télégraphique spécial placé le long de la voie.

Des expériences furent faites entre Argenteuil et

Saint-Cloud, mais le système échoua devant la difficulté d'entretien de la bande de cuivre.

Le système Bonelli a été modifié par Gay, qui crut le perfectionner, mais qui n'obtint pas de meilleurs résultats.

Du Moncel, dans une étude publiée en 1879 sur les systèmes dont nous venons d'indiquer le principe, dit : « Il est certain que les appareils télégraphiques sont trop délicats dans leur fonctionnement pour être installés d'une manière pratique sur les trains, et nous croyons que toutes les fois que l'on aura recours à ce moyen, et surtout à une bande continue placée soit entre les rails, soit latéralement à la voie, soit au-dessus des wagons, on fera fausse route. »

Parmi les systèmes proposés pour établir une communication entre les stations et les trains en marche, il convient de citer celui de M. Phelps, basé sur les courants d'INDUCTION qui naissent dans un conducteur lorsque des courants sont établis et interrompus dans un conducteur voisin placé parallèlement.

Au milieu de la voie, entre les deux rails, est placé

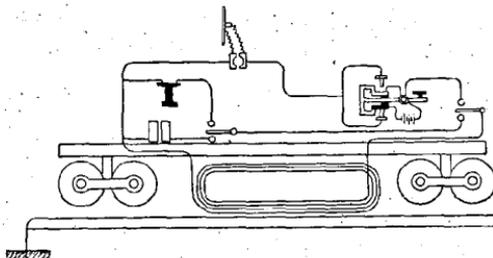


Fig. 4.

un conducteur bien isolé, et autour du wagon renfermant le poste télégraphique est enroulé longitudinalement un fil de cuivre, de telle sorte que les spires inférieures de cette sorte de grande bobine dont le wagon constitue le noyau soient, sur toute la longueur du wagon, parallèles au fil fixé entre les rails. Les spires inférieures doivent être aussi près que possible de ce fil, tandis que les spires supérieures qui passent sur le toit du wagon en sont éloignées. Dans ces conditions, on comprend que si l'on place dans le circuit de la bobine une batterie de 4 à 6 éléments et une clef spéciale permettant de lancer dans le fil des courants de sens contraire, on développe dans le conducteur isolé placé au milieu des rails des courants induits. Ces courants induits, qui sont naturellement très-faibles, arrivent dans le poste télégraphique de la gare, passent dans un RELAIS très sensible, lequel actionne au moyen d'un élément de pile un PARLEUR TÉLÉGRAPHIQUE.

Le système est réversible; autrement dit, les signaux envoyés d'une gare sur le conducteur isolé placé au milieu des rails font naître dans le wagon des courants induits qui actionnent un relais placé dans ce wagon.

On peut remplacer les relais par un TÉLÉPHONE, et on est alors relié téléphoniquement.

La fig. 4, empruntée à un journal américain, donne le schéma des communications électriques installées dans un wagon. Le système a été mis à l'essai en Amérique en 1885, entre Harlem-Bridge et New-Rochelle (N.-Y.).

INTERRUPTEUR. — Appareil destiné à interrompre le passage d'un COURANT électrique dans un circuit conducteur.

On a imaginé des interrupteurs de bien des formes. Voici la description de quelques modèles généralement employés.

Interrupteur à main. — Sur un support en bois (fig. 4), substance peu conductrice, s'élèvent quatre

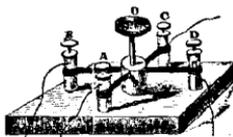


Fig. 1.

poupées cylindriques en métal A, B, C, D, qui sont percées de trous horizontaux dans lesquels on engage les fils conducteurs, que l'on serre au moyen de vis verticales. De chacune de ces poupées part une languette formant ressort, qui vient presser un cylindre central surmonté d'un bouton O, qu'on peut faire tourner autour de son axe vertical. Ce cylindre est enivoire; mais son contour est revêtu de deux lames métalliques opposées, dont les milieux sont sur la

ligne M'N' (fig. 2), et qui ne sont séparées l'une de l'autre que par deux arcs d'ivoire situés sur un diamètre MN.

Supposons que les poutrelles D et A soient mises en communication, la première avec le pôle positif, la

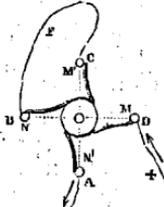


Fig. 2.

seconde avec le pôle négatif d'une pile, et que B et C soient réunies par le conducteur CFB, à travers lequel on veut faire passer le courant. Si le diamètre d'interruption est en MN, comme l'indique la fig. 2, le courant passe de la languette fixée en D dans celle qui est portée par A, à travers le contour métallique N' du cylindre central, et il ne circule pas dans le conducteur BFC. Mais, si l'on tourne de 90° le bouton O, la ligne d'interruption se place suivant M'N', celle de communication en MN; alors le courant va de D en C, traverse CFB, et revient de B en A au pôle négatif.

Le même appareil peut servir de COMMUTEUR.

Interrupteur rotatif. — Il consiste en une simple roue dentée, de substance métallique, placée dans le courant (fig. 3). Un ressort R s'appuie constam-

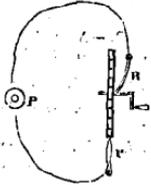


Fig. 3.

ment sur l'arbre de la roue; un autre ressort r reçoit le contact des dents à mesure que la roue tourne. Le courant est fourni par une pile P. Quand le ressort R s'appuie sur une dent, le circuit est fermé, et le courant passe; mais, quand ce même ressort a son extrémité placée entre deux dents, le circuit n'est plus fermé, et le courant est interrompu.

Interrupteur ou Rhéotrope de M. Masson. — Cet appareil, qui permet de produire dans un circuit inducteur des alternatives rapides de rupture et de fermeture, se compose d'un disque en substance isolante, en verre, par exemple, qui peut tourner autour d'un axe horizontal et sur la jante de laquelle se trouve une pièce métallique dentelée sur la moitié de sa largeur et continue sur l'autre (fig. 4). Sur le disque appuient deux ressorts communiquant aux deux extrémités du fil qui doit traverser le courant, et dont l'un frotte sur

la partie métallique continue, tandis que l'autre est en regard de la partie métallique dentelée. En faisant tourner la roue, on produit donc des interruptions.

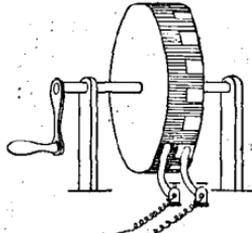


Fig. 4.

M. Masson avait construit cet appareil pour étudier la relation qui existe entre l'intensité d'un courant électrique et la quantité d'électricité qui traverse le circuit dans un temps donné.

Interrupteurs médicaux. — Dans certaines expériences de physiologie et pour la FARADISATION de certains organes, on fait usage d'interrupteurs mus mécaniquement et produisant des interruptions à intervalles réglés d'avance (v. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, Faradisation). Ce sont des appareils du genre de celui de Foucault.

L'interrupteur Foucault, qui constitue l'une des parties essentielles de la bobine d'induction de Ruhmkorff, est décrit et représenté au mot INDUCTION. On trouvera à ce mot la description de la modification apportée par M. Marcel Deprez à l'interrupteur ou trembleur à ressort des anciennes bobines, dans le but d'éviter que la rupture du courant inducteur ne soit produite avant qu'il ait atteint son intensité maximum.

Parmi les interrupteurs employés pour les appareils volta-électriques, citons :

1° L'interrupteur de M. Trouvé, dont il existe deux modèles remplissant le même but quoique basés sur deux principes différents : le premier, destiné plus particulièrement aux études physiologiques, donne à chaque seconde de temps le nombre d'intermittences à un centième de seconde près (v. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, Faradisation); le second, plus que suffisant, le donne à un quinzième de seconde près.

L'interrupteur de M. Trouvé peut servir à déterminer le nombre des vibrations que doit donner le trembleur d'une bobine de Ruhmkorff pour obtenir de suite le maximum d'effet.

2° L'interrupteur Galfé, décrit au mot ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, qui donne 50 à 3.000 intermittences par minute.

3° L'interrupteur Chardin, décrit au mot ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.

Interrupteur d'aiguille. — Appareil permettant de réaliser l'enclenchement réciproque des signaux de protection et des aiguilles de changement de voie dans une gare. On a vu que l'emploi des disques ÉLECTRIQUES permet de résoudre le problème d'une façon simple et relativement peu coûteuse. Prenons comme exemple une gare dont les voies principales I et II sont reliées par un changement. Supposons que la voie I soit reliée par une aiguille à

une voie de garage III et la voie II à une voie de garage IV. Aux deux extrémités de la gare on place les disques électriques D et D', qui sont actionnés par un courant fourni par une pile placée à la gare. Ils se mettent à l'arrêt dès que l'on interrompt le courant et reviennent à voie libre dès qu'on le rétablit. Il importe que ces disques restent fermés pour défendre l'accès de la gare tant que les aiguilles de changement de voie sont tournées de façon à mettre en relation les voies principales avec les voies de garage. Tel est l'objet de l'interrupteur que l'on place à chaque aiguille et que l'on intercale dans le circuit du disque. Cet interrupteur peut être construit de différentes manières; mais il doit être disposé de façon qu'en manœuvrant l'aiguille pour donner accès à la voie de garage le circuit de la pile soit interrompu, ce qui produit la mise à l'arrêt du disque, et qu'au contraire, en remet-

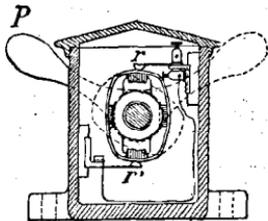


Fig. 5.

tant l'aiguille dans sa situation normale, le circuit de la pile soit reformé, ce qui produit l'ouverture du disque. La fig. 5 donne la vue d'un interrupteur remplissant les conditions ci-dessus indiquées et qui a été essayé à la Compagnie de l'Est. L'aiguille est munie d'une barre d'enclenchement dépendant de son levier de manœuvre et présentant une encoche dans laquelle s'engage un verrou à poignée lorsqu'elle établit la continuité de la voie principale. Dans cette position une came adaptée à ce verrou occupe la situation indiquée en traits pleins, et deux ressorts frotteurs r et r' viennent s'appuyer sur des contacts et assurent le passage du courant. Pour manœuvrer l'aiguille il faut faire tourner la manette P du verrou d'un quart de tour et la retirer pour dégager la barre d'enclenchement. La came prend alors la position représentée en traits ponctués, et le circuit étant ainsi interrompu, le disque se met automatiquement à l'arrêt.

INTERRUPTION DU COURANT. — *Méd.* Les effets d'excitation des nerfs ne se manifestent que dans les variations brusques du courant et par conséquent ils atteignent leur maximum lorsque le circuit est subitement ouvert ou fermé. La manœuvre se fait, pour le courant galvanique, au moyen d'un organe spécial, l'interrupteur, dont tous les appareils sont ou doivent être pourvus. Elle est d'un usage constant, qu'il s'agisse de thérapeutique ou de diagnostic (v. réactions). On peut dire que c'est surtout par ses interruptions que le courant galvanique, improprement désigné sous le nom de *courant continu* par beaucoup de personnes, peut rendre des services. Dans certains cas, par exemple dans la GALVANISATION de l'œil ou de la tête, la rupture brusque du courant ne serait pas sans danger. Il conviendrait donc de ne pas se servir de l'interrupteur. La suppression du courant se fera alors soit en ramenant la manette

du COLLECTEUR au zéro, ce qui peut se faire si chaque plot correspond à un seul couple; soit en introduisant dans le circuit un RHÉOSTAT à liquide, ce qui est préférable; soit enfin en faisant passer lentement l'ÉLECTRODE du tampon, de la peau sur le cuir chevelu.

INTERRUPTION D'un circuit. — Résultat de la rupture d'un circuit conducteur.

INVERSEUR. — On désigne sous le nom d'inverseur une sorte de COMMUTATEUR construit de façon à permettre de changer ou inverser le sens du COURANT envoyé dans un appareil quelconque.

Il existe un grand nombre de modèles d'inverseurs. L'un des plus commodes est celui de Bertin, représenté fig. 1. Cet inverseur, qui est souvent employé

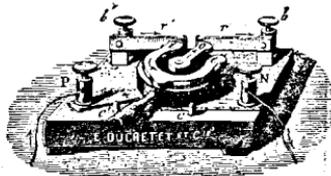


Fig. 1. — Commutateur inverseur de Bertin.

pour changer le sens du courant dans les BOBINES DE RUHMKORFF, se compose d'un disque de caoutchouc durci mobile autour d'un axe vertical et portant à sa partie supérieure deux pièces de laiton dont l'une a la forme d'un fer à cheval i et l'autre o de la forme d'une barre droite. En face des extrémités i , o , e de ces pièces métalliques se trouvent deux lames de ressort r et r' fixées à deux bornes b , b' et auxquelles on relie l'appareil dans lequel on veut inverser le sens du courant.

La source d'électricité est reliée aux bornes P et N qui communiquent respectivement avec les pièces o et i . On comprend qu'en changeant la position de la manette m on changera le sens du courant dans l'appareil relié aux bornes b et b' . Dans la position indiquée par la figure on envoie dans l'appareil récepteur un courant partant de la borne P, traversant la pièce o et sortant par la borne b pour revenir à la source d'électricité par la borne b' , la pièce i et la borne N.

Nous donnons ci-dessous la figure et la description

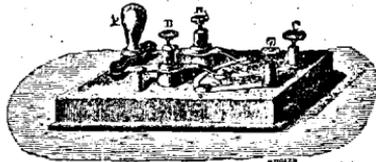


Fig. 2.

de deux modèles d'inverseurs d'un usage courant en TÉLÉGRAPHIE.

L'inverseur à manettes, représenté fig. 2 (modèle Bréguet), comprend deux manettes solidaires et mises

en jeu au moyen de la poignée P. On relie, par exemple, le pôle positif de la pile à la borne C et le pôle négatif à la borne Z. Le MANIPULATEUR communique avec la borne A et la terre avec la borne B. Il est facile de voir que, suivant la position des manettes, le pôle positif se trouvera relié au manipulateur et le pôle négatif à la terre, ou bien que le pôle négatif sera en relation avec le manipulateur et le pôle positif avec la terre.

La fig. 3 donne la vue en place d'un autre modèle d'inverseur employé dans certaines installations télégraphiques, notamment au service télégraphique de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, pour attacher un correspondant dont la SONNERIE ne fonctionne que sous l'action d'un courant de sens déterminé.

Il se compose d'un disque en ébonite sur la circon-

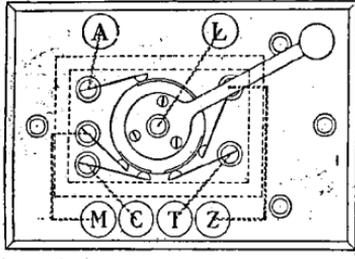


Fig. 3.

férence duquel sont fixées des bandes de cuivre contre lesquelles appuient des frotteurs qui établissent, par exemple, les communications suivantes : cuivre de la pile ou pôle positif (C) au manipulateur (M); zinc de la pile ou pôle négatif (Z) à la terre (T); ligne (L) au manipulateur (M). Si on déplace le disque au moyen de la manivelle qui en est solidaire, les communications, au lieu de rester ce que la figure montre, se modifient et sont établies de la façon suivante : cuivre à la terre, zinc à la ligne. Dès qu'on abandonne la manivelle, le disque reprend sa première position, sollicité qu'il est par un ressort, de sorte que les agents ne peuvent se tromper et laisser la pile montée dans un sens qui pourrait influencer à tort les appareils qu'il ne s'agit de faire fonctionner que momentanément.

Dans certains cas l'inverseur est employé pour passer des dépêches avec le courant positif ou avec le courant négatif; mais alors il faut qu'il reste dans la position où le télégraphiste l'a placé, et la manivelle n'est pas alors pourvue d'un ressort de rappel. Ce sont des appareils de ce genre qui servent à établir les communications électriques dans les appareils électro-sémaphoriques de BLOCK-SYSTEM.

INVERSION DU COURANT. — *Méd.* Dans la GALVANISATION on a quelquefois recours, pour obtenir des excitations plus fortes, à une inversion brusque du COURANT, au lieu d'une ouverture et d'une fermeture consécutives. On donne aussi à ce procédé le nom d'*alternatives voltaïques*. Si l'on n'a à sa disposition qu'un petit nombre de couples, on peut de cette manière en doubler l'efficacité. Le changement subit de la direction du courant s'obtient au moyen du COMMUTEUR ou INVERSEUR qui doit faire partie de tous les appareils. Quand le changement n'a pas besoin

d'être soudain, il est bien évident qu'on peut l'obtenir sans l'aide du commutateur, en échangeant l'attache des fils, ou la disposition du COLLECTEUR, etc.

La remarque a été faite qu'avec un nombre de couples fixes l'intensité du courant se trouve un peu augmentée après l'inversion. Le fait était resté sans explication. M. R. Vigouroux a montré qu'il résulte en grande partie de la polarisation des électrodes, due à des courants locaux de même sens que celui qui s'établit après l'inversion. Suivant le même auteur, le choc résultant de l'inversion doit produire une diminution de la résistance des tissus qui concourt à augmenter l'intensité.

ION (du grec *ión*, allant). — Nom général donné aux molécules des corps qui, dans une décomposition ÉLECTROLYTIQUE, se portent aux pôles POSITIF et NÉGATIF.

On appelle ANIONS celles qui se portent au pôle positif, et CATIONS, celles qui se portent au pôle négatif.

IRIDIUM (Applications électriques de l'). — Dans une communication à la Société américaine des Ingénieurs des mines, M. Dudley a résumé les applications que les électriciens peuvent faire de l'Iridium.

Placé comme ÉLECTRODE négative dans l'ARC voltaïque l'Iridium conserve à ce pôle toujours la même forme et résiste à la haute température de l'arc; mais, comme il devient malléable par la chaleur, il faut qu'il soit préservé des chocs du charbon positif qui, par leur répétition, arriveraient à le déformer. Les crayons d'Iridium se fabriquent en plaçant à l'extrémité d'une tige de laiton un morceau de ce métal, long d'environ 1^m.25 et purifié de toute trace de phosphore. Il est, en effet, reconnu qu'à cette distance de l'arc le laiton ne souffre pas de la température élevée du foyer électrique. Il est cependant préférable, pour éviter tout accident, de mettre un petit dé de platine entre l'Iridium et le laiton.

Une autre application fort importante consiste dans la fabrication des contacts électriques. Ces contacts sont faits maintenant avec des fils de cuivre, garnis d'Iridium à leur extrémité. Ils présentent sur les anciens contacts en platine l'avantage d'être à l'abri de toute oxydation; pour les entretenir en bon état il suffit de les frotter avec de la poudre d'émeri.

On est en outre parvenu à déposer l'Iridium par l'ÉLECTROLYSE; on a ainsi obtenu des objets d'un aspect très brillant et résistant parfaitement à l'action des acides. Mais le procédé exige encore certaines études expérimentales avant d'être adopté par l'industrie. (*La Nature*, septembre 1884.)

ISOCLINE. — Quia la même inclinaison.

Ligne isocline. — Ligne des points de la terre où l'inclinaison de l'aiguille aimantée est la même.

L'équateur magnétique est la première des lignes isoclines. Wilcke a dressé, en 1768, la première carte des lignes isoclines. Hansteen avait conclu de la figure qu'elles présentent l'existence de quatre pôles magnétiques; cette hypothèse a été abandonnée. Ross a trouvé en 1832 le pôle magnétique sur la Terre de Boothia-Felix.

ISODYNAMIQUE. — Où la force est égale.

Ligne isodynamique. — Ligne qui contient les points de la terre où la force magnétique est la même.

Les lignes isodynamiques diffèrent autant des parallèles à l'équateur terrestre que les méridiens magnétiques diffèrent des méridiens terrestres; mais il existe une certaine analogie entre les lignes isodynamiques et les lignes isothermes; les inflexions sont

semblement les mêmes, et il paraît que les points de chaque méridien où l'intensité est au minimum sont aussi les points les plus chauds (Roset).

ISOGONIQUE. — Qui décrit des angles égaux.

Ligne isogonique. — Ligne des points de la surface de la terre où l'aiguille aimantée a la même déclinason.

Barlow a dressé une carte des lignes isoclines en 1823. Ces lignes sont très irrégulières.

Parmi les lignes isogoniques, on distingue celle où la déclinaison est nulle. Elle part de la baie d'Hudson, traverse le Canada, coupe l'Amérique méridionale près du cap Saint-Hoch et vient rencontrer le méridien de Paris vers le 65° degré de lat. S. Elle traverse la Nouvelle-Hollande, enveloppe l'Océanie et les deux Indes, longe le Japon et vient aboutir à la Sibérie.

ISOLANT. — Nom donné à tout corps mauvais conducteur de l'électricité (v. CONDUCTEUR). Les corps isolants sont employés à empêcher la déperdition de l'électricité soit à l'état statique, soit à l'état dynamique.

Les corps isolants usuels sont :

L'air sec.	La gutta-percha.	La soie.
L'ébonite.	La résine.	La laine.
La paraffine.	Le soufre.	Le papier sec.
La gomme laque.	La cire à cacheter.	La porcelaine.
Le caoutchouc.	Le verre.	Le bois sec.

Parmi ces corps, la gutta-percha, le caoutchouc, l'ébonite, la paraffine, le soufre et leurs différents mélanges sont généralement employés pour l'isolement des conducteurs souterrains ou sous-marins que l'on désigne sous le nom de **CABLES**.

Pour les lignes aériennes on emploie, en général, la porcelaine, le verre et exceptionnellement l'ébonite (v. ISOLATEURS).

Voici les indications que donne M. Raynaud, dans son Rapport sur l'Exposition d'électricité de 1881 (Paris), au sujet de quelques-uns des corps isolants cités plus haut :

Ebonite. — L'ébonite ou caoutchouc durci est un mélange de 5 parties de caoutchouc et de 2 à 3 parties de soufre : la masse étant rendue homogène et ayant la forme voulue, on la chauffe pendant plusieurs heures à 76° C. en vase clos et sous une pression de 4 à 5 atmosphères. L'exposition à l'air et à la lumière détermine l'oxydation du soufre et la formation d'acide sulfurique, l'ébonite devient cassante, poreuse et retient les poussières; on la préserve par un vernis à la gomme laque.

L'ébonite prend le nom de *vulcanite* quand on y ajoute des substances colorantes, telles que le sulfure d'antimoine ou le vermillon, qui donnent une couleur orange ou rouge.

Gutta-percha. — Cette substance, découverte en 1842 par le Dr Montgomery, est fournie par le suc laiteux d'un certain nombre d'arbres appartenant pour la plupart à la famille des Sapotées, qui croissent principalement dans l'archipel Indien et la presqu'île de Malacca. La gutta-percha est complètement insoluble dans l'eau, mais sous l'action de l'oxygène de l'air elle brunit et devient cassante en se transformant en une résine soluble dans l'alcool. L'oxydation est facilitée par la lumière, la chaleur et surtout par les alternatives de sécheresse et d'humidité; elle marche rapidement sous l'influence combinée de ces diverses causes. (V. le rapport de M. Raynaud en ce qui concerne la préparation à faire subir à la gutta et son

emploi pour la construction des lignes; v. aussi LIGNES.)

Caoutchouc. — Le caoutchouc est fourni par le *siphonia elastica*, qui se trouve dans l'Amérique centrale et à Java. Le caoutchouc de Para, qui est le plus estimé, provient de l'*hevea guyanensis* et du *castilloa elastica*. Ce dernier est cultivé sur une vaste échelle dans les Indes, de préférence au *fecus elastica*, qui est cependant une espèce indienne. Le commerce classe les caoutchoucs suivant leur provenance : d'abord les caoutchoucs de l'Amérique centrale et de l'Amérique méridionale; puis ceux d'Asie, qui renferment des impuretés, et ceux d'Afrique, qui sont les moins estimés.

Le caoutchouc isole mieux que la gutta-percha et sa CAPACITÉ INDUCTIVE SPÉCIFIQUE est notablement plus faible. De plus, il ne devient pas plastique à une température modérée; mais ce manque de plasticité est un inconvénient pour la fabrication des fils, et on ne peut pas recouvrir le conducteur d'un tube continu de caoutchouc en employant la presse à filière. Enfin le caoutchouc n'adhère pas au conducteur. Comme la gutta, le caoutchouc s'oxyde par l'exposition à l'air et à la lumière, surtout par les alternatives de sécheresse et d'humidité, et l'altération est plus grande dans le produit manufacturé que dans le produit brut.

Huile de caoutchouc. — En distillant le caoutchouc vers 315° C., il passe un liquide extrêmement volatil qui se décompose rapidement à l'air et qui est un excellent dissolvant du caoutchouc et d'autres résines; on l'emploie mélangé avec de l'alcool. Le résidu restant dans la cornue, dissous dans l'huile, forme un vernis très élastique. L'huile de caoutchouc s'emploie dans la fabrication des câbles téléphoniques, câbles militaires et câbles pour lumière, de préférence à la paraffine.

Paraffine, Ozokérite. — La paraffine est le produit de la distillation de certaines espèces de houilles et de bitumes, et de certaines variétés d'huiles minérales ou de pétrole. On la rencontre à l'état natif et elle prend alors les noms de *cire fossile*, *ozokérite*, etc. Elle a un pouvoir isolant élevé et a reçu plusieurs applications dans la télégraphie, notamment pour isoler les conducteurs aux points de jonction, pour protéger du contact de l'air les fils recouverts de gutta-percha ou de caoutchouc servant aux communications des appareils électriques. Le papier paraffiné est employé comme diélectrique dans les condensateurs et les PARATONNERRES à plaques. On fabrique des fils isolés destinés à la téléphonie, à la télégraphie militaire ou à la lumière électrique en entourant le conducteur de coton bien épuré et desséché que l'on enduit de paraffine; le tout est enfilé dans un tube de plomb ou simplement recouvert d'une tresse.

Autres isolants. — En alliant la paraffine au caoutchouc ou à la gutta-percha on obtient des préparations pouvant être employées comme matières isolantes.

Nigrite. — La nigrite est une composition de caoutchouc et de cire noire (la cire noire est le résultat de la distillation partielle de l'ozokérite) obtenue à basse température.

Okonite. — On se sert avec succès en Amérique, pour isoler les conducteurs métalliques, d'une substance appelée *okonite*, employée déjà depuis longtemps pour la fabrication des *waterproofs*, mais dont la composition a été modifiée en vue de la rendre tout à fait imperméable à l'eau. L'okonite contient 38 % de caoutchouc pur, et 62 % d'hydrocarbures naturels, d'oxydes et de silicates.

On l'étend au moyen de rouleaux sur des feuilles de papier d'étain, puis on la découpe en bandes que l'on soude bout à bout. Le conducteur est recouvert longitudinalement et non pas en spirale, et les lèvres de la substance isolante sont rapprochées et soudées par pression.

La résistance d'isolement de l'okonite varie beaucoup avec la température, mais elle est encore suffisante pour des températures relativement élevées.

Gutta-percha française. — Le produit de la distillation à feu nu de l'écorce du bouleau constitue ce que M. Mourlot appelle la *gutta-percha française*.

On emploie encore comme isolant des mélanges de cire, résine, paraffine, suif, goudron et poix de Stockholm.

Caoutchouc des huiles. — Les huiles siccatives ou rendues telles déposent en se desséchant une couche de vernis qui constitue, avec une préparation spéciale, un produit élastique appelé *caoutchouc des huiles*. Ce produit est employé à enduire des goupes de coton; il peut même être appliqué directement sur le fil conducteur nu ou recouvert préalablement de caoutchouc.

Kérite. — La kérite est un mélange du produit de l'oxydation des huiles avec du caoutchouc vulcanisé et un certain nombre d'autres matières, telles que la cire ou l'ozokérite, la silice, etc. La présence du soufre nécessite l'emploi de conducteurs étamés. Les essais électriques faits en France sur certains échantillons ont donné les résultats suivants: la capacité électrostatique de la kérite était de 1,25 à 1,70; de celle de la gutta-percha et son isolement, environ la moitié de celui de la gutta aux températures comprises entre 20° et 33° C. à 50° C.; l'isolement d'un câble en kérite n'était que le tiers de celui d'un câble similaire en gutta. Mais la kérite présente sur la gutta certains avantages: elle peut être employée par exemple dans des conditions de température élevée où l'usage de la gutta serait impossible.

Mastic isolant ou pécite. — Le directeur de l'observatoire du Vésuve emploie pour la construction de ses électromètres un mastic isolant, appelé *pécite*, qui donne des résultats excellents et qui est composé de deux tiers de poix grecque et d'un tiers de plâtre calciné, en poids. Ce mastic constitue à chaud une pâte homogène et visqueuse; on peut l'appliquer au pinceau sur les appareils ou bien le couler dans des moules de formes variées. Il possède les propriétés isolantes de l'ébonite, bien qu'il soit plus tendre et plus plastique; un praticien adroit peut tourner et polir les objets moulés avec cette matière; sa couleur est celle de l'ambre légèrement foncé. Au point de vue électrique, ses deux propriétés caractéristiques et principalement utiles sont de ne rien perdre de sa puissance isolante, soit qu'on l'expose à une grande chaleur, soit qu'il ait à supporter des conditions hygrométriques anormales.

Compositions diverses. — M. Rousseau a imaginé une composition isolante formée d'un mélange de tôle en poudre et de gomme laque dissoute dans l'alcool. En additionnant le tout de noir de fumée on obtient une matière d'un beau noir qui peut être comprimée dans des moules chauffés au gaz et prendre les formes que l'on désire. Cette composition, qui est plus isolante que l'ébonite, est complètement inaltérable à l'action des variations ordinaires de température.

Enfin, M. Meril, de Somerville (Massachusetts), a breveté récemment une nouvelle matière isolante ainsi fabriquée: on mélange 1 kilogramme de silicate de soude avec un peu d'eau et 500 grammes de goudron; on chauffe ensuite et on ajoute 2 kilogrammes d'amiant en poudre et 30 grammes de

sucré; on malaxe le tout ensemble et on ajoute 3 grammes d'acide nitrique dilué dans de l'eau chaude. La matière ainsi obtenue est plastique et s'applique facilement; malheureusement elle ne peut résister aux températures élevées.

Le développement pris dans ces derniers temps par les applications de l'éclairage électrique dans les théâtres et dans les grands établissements industriels impose l'obligation d'examiner de près la question de la durée de la résistance de l'enveloppe isolante des conducteurs. Il est bien difficile de dire si le passage du courant exerce une influence sur les isolants ou si le milieu même où ils sont placés modifie leurs propriétés; mais il y a là un détail à ne pas négliger. Il paraît utile de soumettre les canalisations électriques à des inspections régulières, afin d'éviter les incendies qui pourraient prendre naissance au cas où un conducteur insuffisamment isolé viendrait à s'échauffer outre mesure.

Action de l'électrisation sur les isolants. — Un isolant, solide ou liquide, soumis à l'électrisation, devient biréfringent (toute fois s'il est solide, immédiatement s'il est liquide). Ce phénomène a été signalé par M. Kerr.

ISOLATEUR ou ISOLOIR. — Appareil servant à isoler les corps qu'on veut charger d'électricité.

M. Mascart a imaginé un modèle d'isolateur pour expériences de laboratoire, qui donne d'excellents résultats. Il se compose, comme le montre la fig. 1,

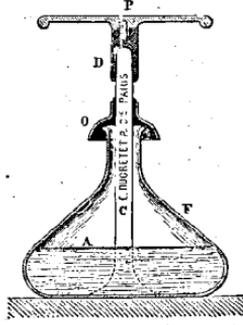


Fig. 1.

Support isolant à acide sulfurique de M. Mascart.

d'un flacon de verre F à base très large dont le fond se relève et vient traverser le goulot sans le toucher. On verse dans l'intérieur du flacon de l'acide sulfurique concentré A. La colonne de verre C sert à supporter les corps qu'on veut charger d'électricité ou que l'on veut isoler, tel que P, par exemple. Un collier en ébonite O recouvre l'orifice du flacon sans le toucher, afin d'empêcher l'air de se renouveler dans l'intérieur.

Isolateur télégraphique. — Appareil généralement en porcelaine qui, placé entre le fil télégraphique et le poteau, isole ce fil et lui sert en même temps de point d'appui.

Les premiers isolateurs employés en France étaient de simples anneaux en porcelaine au travers desquels passait le fil et qui étaient fixés par des vis au poteau; l'usage en était incommode; l'isolement était faible,

mais la solidité très grande. En 1850 on les a remplacés par des supports-cloches, et l'Administration des Lignes télégraphiques a ensuite substitué à ces derniers les cloches d'arrêt.

On peut dire que les isolateurs actuellement en usage sur les lignes télégraphiques sont de modèles très différents. On s'est ingénié à combiner des systèmes de toute sorte afin d'assurer le parfait isolement des fils de tous les corps pouvant donner passage au courant et d'éliminer ainsi les causes trop fréquentes de déperdition d'électricité.

Un bon isolateur doit pouvoir se nettoyer facilement; c'est là une condition essentielle, car sur les lignes de chemins de fer, particulièrement dans les gares où manœuvrent constamment des trains, la fumée finit, au bout d'un certain temps, par déposer sur les isolateurs une couche de noir de fumée et de particules charbonneuses qui établit une communication électrique entre les fils posés sur les isolateurs, les attaches métalliques de ces derniers, les poteaux et la terre. De là résultent des pertes qui, suivant l'état d'humidité plus ou moins grand de l'atmosphère, peuvent amener des troubles dans la transmission des dépêches.

Les différents types d'isolateurs les plus employés sont ceux en porcelaine à base de kaolin pur et entièrement émaillés.

Les modèles en usage sont les suivants :

1° **Supports-cloches.** — Ce sont des cloches en porcelaine munies de deux oreilles et portant un crochet



Fig. 2. — Support-cloche.

de fer galvanisé scellé au plâtre à mouler, gâché à la colle forte. Chaque support est fixé au poteau par deux vis à tête carrée (fig. 2)



Fig. 3. — Cloche d'arrêt simple.

2° **Cloches d'arrêt simple.** — Les cloches d'arrêt simple sont scellées au plâtre sur l'extrémité d'une

console de fer galvanisé fixée au poteau par deux vis à tête carrée (fig. 3).

3° **Cloches d'arrêt double.** — La cloche d'arrêt double se compose de deux cloches d'arrêt simple scellées sur une console à deux branches qui se fixe

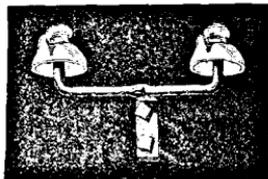


Fig. 4. — Cloche d'arrêt double.

au poteau par deux vis à tête carrée (fig. 4). Ces cloches sont employées à chaque coupure d'un fil de ligne pour l'établissement d'un poste intermédiaire.

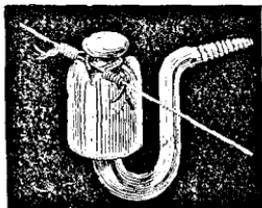


Fig. 5. — Isolateur double-cloche (vue perspective).



Fig. 6. — Isolateur double-cloche (coupe).

4° **Isolateurs double-cloche.** — Employés par l'Administration française des Postes et Télégraphes, et dont les fig. 5 et 6 donnent la vue perspective et la coupe.

5° **Poulies d'arrêt.** — Les poulies d'arrêt servent à attacher les extrémités des fils dont la traction sur le support n'est pas équilibrée par celle d'un autre fil; elles sont employées aussi en remplacement des cloches d'arrêt lorsque l'effort horizontal dépasse celui que peuvent supporter sans inconvénient lesdites

cloches. Mais ces potées, dont la *fig. 7* donne une vue perspective, sont de médiocres isolateurs.

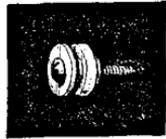


Fig. 7. — Poulie d'arrêt.

6° Anneaux d'angle. — Enfin dans certains cas on se sert d'anneaux fermés (*fig. 8*) maintenus sur les



Fig. 8. — Anneau d'angle.

supports par deux vils galvanisés, et d'anneaux ouverts (*fig. 9*).

Certains isolateurs sont en verre; dans quelques pays on les construit en fonte ou en bois, et on les double, dans ce cas, d'une paroi intérieure en verre ou en porcelaine, et quelquefois en ébonite.

Sur certaines lignes étrangères on emploie encore pour tendre les fils des appareils appelés *tendeurs*; ces appareils, qui restent constamment sur les fils, sont de modèles différents, mais ils comprennent

toujours un isolateur et une pièce de fer munie de treuils sur lesquels s'enroule le fil.



Fig. 9. — Anneau d'angle.

Les *tendeurs* sont généralement abandonnés aujourd'hui, parce qu'on a reconnu que ces appareils sont inutiles quand la tension du fil a été convenablement réglée au moment de la pose, et qu'ils ont le grave inconvénient de créer des résistances considérables par suite de l'imperfection du contact des fils. Il était bon toutefois de les mentionner.

Nous ne saurions citer ici tous les modèles d'isolateurs plus ou moins ingénieux combinés en vue d'obtenir un meilleur isolement et d'empêcher les fils de tomber à terre lorsque l'isolateur vient à casser. Nous mentionnerons seulement, à titre d'exemple, l'isolateur *Johnson et Phillips*, employé en Angleterre et composé, comme le montre la *fig. 10*, d'une cloche courbe. La tige forme une

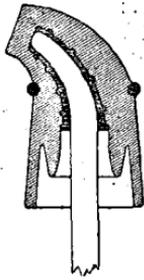


Fig. 10. — Isolateur Johnson et Phillips (coupe).

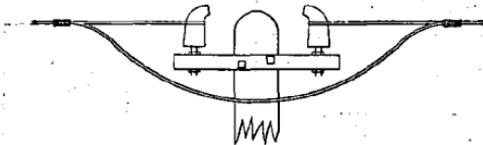


Fig. 11. — Isolateurs Johnson et Phillips.

espèce de crochet auquel le fil est attaché. En cas d'accident ce dernier sera pris par la tige métallique



Fig. 12.



Fig. 13.

courbe et ne pourra tomber à terre. La *fig. 11* représente deux de ces isolateurs fixés sur un poteau

avec un fil reliant ensemble les conducteurs des deux côtés du poteau, de manière à former un circuit continu.

Pour les installations intérieures des postes télégraphiques ou téléphoniques, on emploie des isolateurs semblables à ceux en usage pour les installations des lignes, mais de plus petites dimensions. Ainsi la *fig. 12* donne la vue d'un isolateur en porcelaine avec support galvanisé maintenu par deux vils également galvanisés.

La Société des téléphones se sert, pour le montage des fils dans les habitations, de petits isolateurs en bois de hêtre représentés *fig. 13* et percés d'autant de trous que l'on veut supporter de fils. Non seulement chaque fil est isolé complètement du mur, mais les fils sont séparés entre eux.

Essai des isolateurs. — Les isolateurs perdant toute leur efficacité lorsqu'il existe une communication entre l'intérieur de l'isolateur et le crochet qui supporte le fil, il est utile de procéder à un essai de ces supports avant de les poser.

Pour procéder à cet essai on peut, lorsque les supports ont la forme d'une cloche, les placer dans une auge où on les maintient renversés (fig. 14). On verse

ensuite de l'eau acidulée dans l'intérieur des cloches et dans l'auge, mais de façon que le niveau du liquide n'arrive pas au bord de la cloche. On met alors en communication électrique le liquide contenu dans l'auge avec le pôle d'une pile; une petite lame de cuivre est reliée à l'autre pôle de cette pile par l'intermédiaire d'un GALVANOMÈTRE. On plonge cette lame successivement dans chacun des supports à essayer

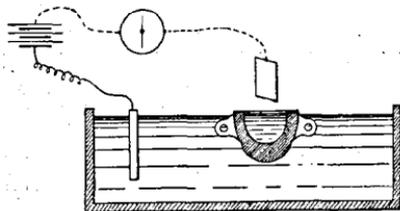


Fig. 14. — Auge pour l'essai des isolateurs.

Le COURANT ne pouvant passer qu'à travers la matière isolante, on reconnaît aisément, à la déviation de l'aiguille du galvanomètre, les fissures qui peuvent exister dans les cloches.

ISOLATION. — Action d'isoler les corps qu'on veut électriser.

ISOLÉ. — Se dit d'un corps séparé par une matière isolante de tout corps qui pourrait lui enlever son électricité.

ISOLEMENT. — État d'ISOLATION d'un corps électrisé.

ISOLER. — Placer hors de contact avec tout corps CONDUCTEUR de l'électricité.

JACK. — Nom donné à des commutateurs à chevilles servant dans les bureaux téléphoniques à établir la communication entre les lignes d'abonnés. (V. TÉLÉPHONIE, Organisation du réseau téléphonique de Paris.)

JACKKNIFE. — On désigne sous ce nom le commutateur qui sert dans les bureaux téléphoniques pour relier les lignes qui y aboutissent et mettre ainsi les abonnés en communication. Ce nom a été donné parce

que, dans l'origine, le ressort de contact était disposé comme une lame de couteau, et que c'est un Français du Canada, appelé Jack, qui avait imaginé cet appareil.

Les jackknives pour simple fil sont de petites bandes de cuivre percées de deux trous (fig. 1), placées dans les tableaux des abonnés et correspondant chacune aux indicateurs qui avertissent l'employé du bureau qu'un abonné demande une communication. Quand on veut donner la communication à deux abonnés, on réunit leurs jackknives par une

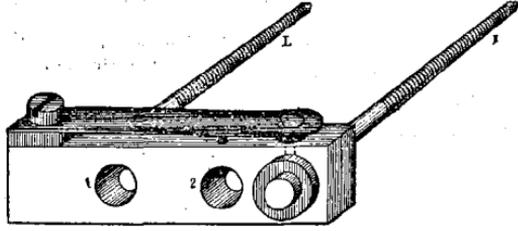


Fig. 1. — Jackknife à simple fil.

cordé métallique recouverte de soie et terminée par deux chevilles de laiton. Cette cheville est une simple pièce cylindrique, du diamètre des trous du jackknife, rendue élastique au moyen de deux traits de scie qu'on lui donne dans des plans diamétraux. Le jackknife présente à sa partie supérieure un ressort portant une goupille dont la partie inférieure dépasse l'affleurement du trou n° 2. On comprend donc que,

si l'on met la cheville dans le trou n° 2, on soulève le ressort et la goupille; et que, si on la met dans le trou n° 1, on laisse le ressort dans sa position. Quand on soulève le ressort, on rompt un contact à son extrémité et on isole l'indicateur. Or, il est nécessaire, quand on met deux abonnés en communication, qu'un des indicateurs soit placé en dérivation de la ligne à la terre, pour que les abonnés puissent, dès

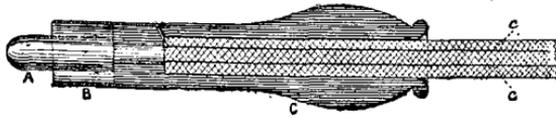


Fig. 2. — Fiche du Jackknife pour le double fil.

que leur conversation est terminée, envoyer sur la ligne le courant de leur FILE entière, en pressant sur leur bouton d'appel, et par suite faire tomber l'indicateur et annoncer au bureau qu'ils ont fini. Il est nécessaire, en outre, que le second indicateur soit mis hors du circuit, parce que la double dérivation qui serait ainsi établie nuirait à la correspondance téléphonique.

Comme la transmission téléphonique est troublée par des bruits d'INDUCTION lorsqu'on n'emploie qu'un fil de ligne et le retour par la terre, chaque ligne d'abonné comprend deux fils (v. TÉLÉPHONIE, Instal-

lations du réseau téléphonique de Paris), l'un pour l'aller, l'autre pour le retour. Dans ce cas, le jackknife pour double fil est un peu plus compliqué que celui de la fig. 1. La cheville pour le double fil est représentée fig. 2. Elle comprend deux parties métalliques, l'une A, au centre, l'autre B, qui est formée d'un tube de laiton monté sur le manche C, en ébonite. Ces deux chevilles A et B, l'une intérieure, l'autre extérieure, sont donc isolées et rattachées aux fils ce que contient le cordon souple. La cheville centrale dépasse l'autre, de sorte que quand elle est mise dans l'un des trous du jackknife, on donne deux contacts.

Jacobi (Morin-Hermann), physicien allemand, inventeur de la GALVANOPLASTIE, né à Poldan vers 1790, mort à Saint-Petersbourg le 10 mars 1874. Il se rendit en Russie, vers 1818, avec des lettres de recommandation de Humboldt, s'adonna à des recherches de physique, et établit, en 1830, un télégraphe électrique entre le palais d'hiver à Saint-Petersbourg et le ministère du comte de Kleinmichel. Chargé, en 1832, d'établir un autre télégraphe entre le palais d'hiver et le palais d'été de Tsarskoï-Seïlo, il fut amené, en plaçant sous terre des fils conducteurs dans des tubes de verre, à découvrir ce fait important, qu'on peut à volonté fermer le courant avec la terre et éviter, par suite, les doubles fils dans la construction des télégraphes électriques. (La même découverte est attribuée à Steinheil.) En 1834, Jacobi fut nommé professeur à Dorpat. En 1837, ayant remarqué que le cuivre déposé par le courant galvanique sur des lames de platine reproduisait fidèlement les plus petites irrégularités de leur surface, il essaya de reproduire ainsi des médailles et d'autres objets analogues. C'est ainsi qu'il fit sa belle découverte de la galvanoplastie, découverte que cette année même Spencer faisait à Londres. L'empereur de Russie le nomma alors conseiller de cour, et l'Académie des Sciences de Saint-Petersbourg l'admit au nombre de ses membres. Vers la même époque, il fut chargé, sur son initiative, de former un régiment modèle de *sapeurs galvaniques*, qu'il exerça au maniement de l'électricité et dont il devint capitaine. On a de Jacobi de nombreux mémoires, insérés, de 1834 à 1857, dans le *Recueil de l'Académie de Saint-Petersbourg*, et parmi lesquels nous citerons : *Application de l'ÉLECTRO-MAGNÉTISME; Sur les phénomènes d'induction dans la pile voltaïque; Sur les lois des aimants électriques; Rapports circonstanciés sur les travaux d'application du galvanisme à la galvanoplastie, à l'inflammation de la poudre à grandes distances*, etc.

Jamin (Jules-Célestin), né le 31 mai 1818 à Terines (Ardennes), mort à Paris le 13 février 1886. D'abord élève d'une petite pension de Vouziers, puis du collège de Reims, il entra le premier à l'École normale supérieure, en 1838, et en sortit, en 1841, premier agrégé des sciences physiques. Il fut alors envoyé au collège de Caen, puis en 1843 au collège Bourbon (aujourd'hui lycée Condorcet) et en 1844 au collège Louis-le-Grand. Pour son doctorat ès sciences physiques, en 1847, il soutint une thèse, devenue classique, sur la réflexion de la lumière à la surface des métaux. En 1852, il fut nommé professeur à l'École polytechnique, et y fit son cours jusqu'en 1881, époque à laquelle il donna sa démission. A la mort de Despretz, en 1863, il obtint la chaire de physique à la Faculté des sciences, et, grâce à la grande lucidité de ses démonstrations, son cours fut assiduellement suivi. Il succéda à Pouillet, en 1858, comme membre de l'Académie des Sciences, et, en 1884, à Dumas, comme secrétaire perpétuel de cette assemblée. Il fut nommé doyen de la Faculté des sciences à la mort de Milne-Edwards.

Parmi d'autres travaux importants en physique insérés dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* il a publié des études remarquables sur la constitution des AIMANTS. Il a construit un modèle d'aimant artificiel qui porte son nom et inventé une BOUCLE électrique connue sous le nom de *bobine Jamin*. Il a laissé un traité de *Physique* en quatre volumes, écrit en collaboration avec M. Bouly, et un autre traité plus élémentaire en un volume.

Doté d'aptitudes très variées, Jamin aimait la littérature et la musique, s'occupait de peinture, de bo-

tanique, de géologie; mais ce n'étaient naturellement là pour lui que des distractions.

JARRE ÉLECTRIQUE. — Bouteille ou bocal en verre ou en cristal recouvert extérieurement et intérieurement d'armatures en étain formant condensateur et qu'on assemble en nombre quelconque pour constituer des BATTERIES ÉLECTRIQUES.

JAUGE ÉLECTROMÉTRIQUE ou **Électromètre idiostatique.** — Organe de l'électromètre absolu de Thomson qui permet de vérifier la constance de la charge du plateau supérieur. La jauge est elle-même un électromètre accessoire basé sur le même principe que l'électromètre absolu et composé d'une pièce métallique mobile à travers une ouverture pratiquée dans une plaque de garde et mise en présence d'une lame parallèle. L'attraction produit lorsque les deux lames sont électrisées en sens contraire est fonction de leur distance. On l'équilibre par un contrepoids. En conséquence, la pièce mobile porte un bras long et léger fixé à un fil métallique tendu transversalement. La rotation se fait autour de ce fil qui, se trouvant légèrement tordu, par le fait même tend à ramener le fîeu à sa position d'équilibre; en outre, c'est par le même fil que le disque mobile reçoit une CHARGE ÉLECTRIQUE. Ce disque mobile doit toujours être maintenu dans le plan de l'ANNEAU DE GARDE; on s'en assure par le système *cheveu et points*, le cheveu étant fixé à l'extrémité du fîeu qui fait contrepoids. Dans chaque expérience le cheveu doit être maintenu invariablement entre les points sans faire varier la distance du plateau attractif parallèle. S'il survient un déplacement du cheveu manifestant une variation dans la charge, on reproduit celle-ci à l'aide du NEUCHANGUO ou REPLENISTEN, jusqu'à ce que le cheveu soit revenu entre les index (Gariel, *Traité pratique d'Electricité*). On a reconnu qu'il valait mieux remplacer le cheveu par un poil de chien terrier noir (Gordon, *Traité expérimental d'Electricité*).

JAUGE DES FILS CONDUCTEURS. — Les fils employés en électricité sont souvent désignés par un numéro d'une jauge déterminée. En France on emploie la jauge décimale pour les fils de gros diamètre, la jauge carcasse pour les fils fins et la jauge de Limoges pour les fils de fer.

En Angleterre on a adopté officiellement le Standard Wire Gauge (S. W. G.).

Il est plus rationnel de désigner la grosseur des fils par leur diamètre, exprimé en millimètres ou en centièmes de millimètre. La tendance actuelle est de supprimer toutes les jauges.

Nous donnons cependant ci-dessous les valeurs probables des diamètres des fils de jauge carcasse et de la Standard Wire Gauge (d'après le *Formulaire d'Electricité* de M. Hospitalier).

JAUGE CARCASSE OU DU COMMERCE.

(Les diamètres des fils sont exprimés en centièmes de millimètres.)

N ^o	DIAMÈTRES.	N ^o	DIAMÈTRES.	N ^o	DIAMÈTRES.
P	50	24	20	38	11
12	47	26	26	40	40
14	44	28	22	42	9
16	40	30	20	44	8
18	37	32	17	46	7
20	34	34	14	48	6
22	32	36	12	50	5

STANDARD WIRE GAUGE (S. W. G.)

(Les diamètres sont exprimés en millimètres.)

Nos	DIAMÈTRES.	Nos	DIAMÈTRES.
0000000	12,5	14	2,0
0000000	11,6	15	1,8
000000	10,8	16	1,6
00000	10,0	17	1,4
0000	9,3	18	1,2
000	8,7	19	1,0
00	8,1	20	0,9
0	7,5	21	0,8
1	6,9	22	0,7
2	6,3	23	0,6
3	5,8	24	0,55
4	5,3	25	0,50
5	4,8	26	0,45
6	4,4	27	0,41
7	4,0	28	0,37
8	3,8	29	0,34
9	3,2	30	0,31
10	2,9	31	0,29
11	2,6	32	0,27
12	2,3	33	0,25

Le journal *la Lumière électrique* a publié, dans son n° 9, du 26 février 1887, une jauge calculée par Edison dans le but de déterminer les dimensions exactes des conducteurs dans un circuit d'éclairage, afin que d'une part la déperdition d'énergie électrique ne soit pas trop grande et que d'autre part l'économie de la matière soit la plus forte possible. Cette jauge est basée sur la section transversale du fil; chaque numéro correspond au carré du diamètre exprimé en millièmes de pouce, et les sections varient, dans une progression convenable, par 1.600 entiers de cette unité de mesure. Le plus petit numéro, 3 ($d^2 = 3.000$), correspond au plus petit fil applicable dans les conducteurs d'Edison, tandis que le plus fort, 360, représente une tige de cuivre de 6 dixièmes de pouce (15 millimètres) de diamètre, comme les conducteurs dont on fait usage dans le système souterrain d'Edison. Le tableau de la jauge, donnant les dimensions, poids et résistance du fil de cuivre pur, est accompagné d'un graphique permettant de trouver immédiatement les dimensions à donner à un conducteur pour réaliser une installation d'éclairage admettant un nombre de lampes déterminé.

JOCKEY. — Nom donné au marteau ou pièce vibrante d'un appareil d'appel pour la téléphonie et qui est nommé **VIBRATEUR**.

JOINT. — Nom donné à tout système de raccord de deux fils conducteurs. (V. LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE.)

JOULE (Lois de). — Lois établies par M. Joule, célèbre physicien anglais, pour déterminer les quantités de chaleur dégagées dans un conducteur traversé par un courant électrique. Elles s'énoncent comme suit :

1° La quantité de chaleur dégagée dans l'unité de temps par le passage d'un courant électrique dans un conducteur est proportionnelle à la résistance de ce conducteur.

2° Elle est proportionnelle au carré de l'intensité du courant,

Si on désigne par q la quantité de chaleur dégagée dans l'unité de temps, par r la résistance du conducteur considéré, par I l'intensité du courant et par C une constante, on a la relation :

$$q = CrI^2$$

Cette loi s'applique aussi aux quantités de chaleur dégagées dans les couples.

Conséquences : Si un circuit est composé de parties d'égale résistance, la quantité de chaleur dégagée dans un temps donné est constante pour un même courant et peut servir à donner l'intensité thermique de ce courant.

Si dans un conducteur liquide il y a électrolyse, on ne retrouve plus la même quantité de chaleur, au moins sous forme sensible. La loi n'est applicable que si l'on tient compte de la chaleur qui correspond à la décomposition de l'électrolyte.

La quantité de chaleur dégagée dans un conducteur étant également proportionnelle au temps t pendant lequel le courant passe, on a la formule générale

$$q = CrI^2t$$

ou

$$(1) \quad q = \frac{1}{A} rI^2t,$$

A étant l'équivalent mécanique de la chaleur. En combinant la loi de Joule avec la loi d'Ohm

$$I = \frac{E}{r},$$

on obtient les deux formules suivantes

$$q = \frac{1}{A} EI^2t = \frac{1}{A} \frac{E^2}{r} t,$$

E étant la différence de potentiel entre les deux extrémités de la résistance r .

Enfin, si on se rappelle qu'en vertu de la loi de Faraday « la quantité d'électricité Q qui traverse un conducteur pendant un temps t est $Q = It$, » la formule (1) devient

$$q = \frac{1}{A} QE.$$

Le travail T équivalent au passage d'un courant dans un conducteur a pour expression

$$T = I^2rt = EI^2 \frac{E^2}{r^2} t,$$

et, à cause de la loi de Faraday

$$T = QE.$$

Méd. — Il peut être intéressant en thérapeutique ou en physiologie de connaître le travail représenté par une action électrique donnée. L'évaluation en est des plus simples, grâce à la formule de Joule. Mais ce serait une erreur que de vouloir, comme cela a été proposé, prendre l'énergie pour unique mesure dans les applications électriques médicales. M. R. Vigouroux a fait observer (*Société de Biologie*, 1883) que les effets physiologiques de l'électricité ne dépendent pas seulement de la valeur absolue du produit EI , mais aussi et surtout de la valeur respective des deux facteurs. Par exemple, la très grande force électromotrice et la faible intensité d'une machine de Holtz, ou bien la faible force électromotrice et la grande intensité d'une pile pourront représenter la même énergie en volt-coulomb, ou la

même puissance en WATTS, mais pas du tout la même action physique, chimique ou physiologique.

JOULE. — Terme proposé en 1882 par sir William Siemens, au congrès de l'Association britannique tenu à Southampton, et rapidement adopté par les praticiens, surtout en Angleterre, pour représenter l'unité pratique d'ÉNERGIE électrique égale au travail représenté par une quantité d'électricité agissant avec une FORCE ÉLECTROMOTRICE de 1 volt.

Cette unité correspond au kilogrammètre.

$$1 \text{ joule} = \frac{1}{9,81} \text{ kilogrammètre.}$$

$$1 \text{ joule} = 10^7 \text{ ERGS} = 10 \text{ meg-ergs.}$$

JUTE. — Chanvre des Indes employé pour envelopper les CABLES.

K

KATALYTIQUE et KATAPHORIQUE. — *Méd.* Deux mots introduits par Remak pour caractériser les effets du courant galvanique sur l'organisme. — Il n'ont plus qu'un intérêt historique. Leur signification était d'ailleurs assez vague. Par le premier, Remak désignait surtout les effets d'ordre chimique; par le second, ceux d'ordre mécanique, tels que le transport des liquides par le courant.

KATELECTRONUS. — Expression créée par Edouard Pflüger pour désigner la partie du nerf qui devient la plus irritable lorsque ce nerf est parcouru par un courant constant. (V. ÉLECTRONIQUE, [état].)

KÉRITE. — Substance isolante. (V. ISOLANT.)

KERR (Expériences de). — (V. POUVOIR ÉLECTRO-OPTIQUE.)

KIESSELGHÜR ou Farine fossile. — Nom donné à une poudre fossile composée presque entièrement de carapaces siliceuses de diatomées et qui a été employée par quelques électriciens soit pour dessécher certains genres de PILES, soit même pour absorber d'avance les liquides acides destinés à actionner les piles et en faciliter le transport. Le chargement des piles se réduit alors à mettre une dose fixée d'avance de cette poudre acide dans chaque couple et à y verser de l'eau. Le kieselghür sert aussi à la fabrication de la dynamite.

Kinnersley (Ebenezzer), né en 1712; la date de sa mort est inconnue. Contemporain et compatriote de Franklin.

En 1747, Franklin avait reçu de la Société royale de Londres la description raisonnée de nouvelles expériences électriques et quelques instruments propres à exécuter les principales de ces expériences, notamment un tube de verre avec son étui, instrument qui pouvait, à cette époque, tenir lieu d'une MACHINE ÉLECTRIQUE.

Franklin répéta fréquemment ces expériences devant ses amis. Il fit souffler à Philadelphie plusieurs tubes de verre qu'il distribua aux curieux et aux amateurs qui l'entouraient, et dont quelques-uns devinrent ses collaborateurs. Le principal d'entre eux fut Kinnersley, « ingénieux voisin, dit Franklin, n'ayant rien à faire, que j'engageai à entreprendre de montrer les expériences pour de l'argent. Il se procura à ce sujet un élégant appareil. Ses séances furent bien suivies et donnèrent une grande satisfaction, et quelque temps après il parcourut les colonies, donnant des séances dans les villes capitales, et recueillit de l'argent ».

Kirchhoff (Gustave-Robert), savant physicien allemand, né en 1824 à Königsberg, mort en 1887 à

Berlin. Élève du mathématicien Neumann, il fut successivement professeur libre à Berlin et professeur extraordinaire à Breslau; puis, en 1834, professeur ordinaire de physique à Heidelberg; depuis 1875 il occupait la chaire de physique mathématique à l'université de Berlin. La même année, il entra à l'Académie des Sciences de cette ville. Il était membre correspondant de l'Institut de France et commandeur de la Légion d'honneur.

Presque tous ses travaux rentrent dans la partie mathématique de la physique : le seul travail nettement expérimental, *l'analyse spectrale* a été fait en collaboration avec M. Bunsen. Kirchhoff en a d'ailleurs cherché les fondements théoriques et a établi les lois mathématiques qui relient les pouvoirs d'émission et d'absorption des corps.

Il s'est occupé de l'élasticité, de l'hydro-dynamique, de la thermo-dynamique. En électro-statique, il a étudié plus particulièrement le problème de la répartition de l'électricité sur deux sphères conductrices en développant les résultats obtenus en premier lieu par Poisson, et celui du CONDENSATEUR plan avec ou sans ANNEAU DE GARDE. Dans l'électro-dynamique, il s'est attaché l'un des premiers aux problèmes dans lesquels il faut faire intervenir à la fois les phénomènes de l'électro-statique et les propriétés des COURANTS; c'est ce qui se présente en particulier pour les DÉCHARGES oscillatoires des BOUTEILLES DE LEYDE, et surtout pour l'examen des phénomènes électriques dans les CABLES sous-marins.

Il a établi les formules relatives à la transmission de l'onde électrique le long d'un fil en tenant compte de sa CAPACITÉ et des phénomènes d'INDUCTION électro-dynamique. Ce travail, souvent repris depuis, a servi à créer la THÉORIE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE DE LA LUMIÈRE, et récemment on a employé ses formules pour essayer de jeter un peu de clarté dans la TÉLÉPHONIE A GRANDE DISTANCE.

KIRCHHOFF (Lois de). — « En appliquant les lois d'OHM à un système quelconque de CONDUCTEURS reliés entre eux, on a les deux conséquences suivantes :

« 1° Pour tout point de concours, c'est-à-dire pour tout point où aboutissent plus de deux conducteurs, la somme des INTENSITÉS des COURANTS qui le traversent est nulle, en considérant comme positifs les courants qui se dirigent vers le point, et comme négatifs ceux qui s'en éloignent.

« 2° Pour toute figure fermée du système, la somme des produits des Intensités par les RÉSISTANCES est égale à la somme des FORCES ÉLECTROMOTRICES.

« La direction positive des intensités étant choisie, les forces électromotrices sont regardées comme positives ou comme négatives, suivant qu'elles déterminent une augmentation ou une diminution de POTENTIEL.

« Appliquées au PONT DE WHEATSTONE, ces deux lois

fournissent les équations nécessaires pour avoir l'intensité du courant dans les diverses branches du pont. » (Gordon, *Traité expérimental d'Electricité et de Magnétisme*.)

Kobell (François), minéralogiste et poète allemand, né à Munich en 1803. De bonne heure il s'adonna à l'étude des sciences naturelles, fut nommé professeur adjoint de minéralogie dans sa ville natale à l'âge de vingt-cinq ans, et devint professeur en titre après la publication de sa *Caractéristique des minéraux* (Nuremberg, 1830-1831, 2 vol.), ouvrage estimé qui commença sa réputation. Depuis lors, il a fait paraître un assez grand nombre de traités qui lui ont valu d'être nommé conservateur de la collection minéralogique de Munich et membre de l'Académie des sciences de Bavière. Nous citerons de lui : *Tableaux pour servir à déterminer les minéraux à l'aide de simples expériences chimiques* (Munich, 5^e édit., 1833), excellent et utile ouvrage; *Éléments de Minéralogie* (1838); *Galvanographie* (1842), écrit dans lequel il expose une méthode de son invention pour obtenir par la GALVANOPLASTIE des planches gravées; *Minéralogie* (1847); *Esquisse du Règne minéral* (1850); *Nomenclature minéralogique* (1853). Kobell n'était pas seulement un savant éminent, c'était encore un poète de beaucoup de talent, et à ce titre il avait en Allemagne une réputation méritée.

Kohlrausch (Rodolphe-Hermann-Arnold), né le 6 novembre 1809 à Cœtzingue, mort le 9 mars 1858 à Erlangen, où il était professeur de physique. Il a fait des travaux importants sur la théorie de la pile, sur l'état résiduel de la BOUTEILLE de Leyde, et a construit un électromètre. — Ses études ont été publiées dans les *Annates de Poggendorff*.

Kolbe (Adolphe-Guillaume-Herman), chimiste allemand, né à Ellehausen, près de Gœttingue, en 1818. Il suivit, à partir de 1838, les cours de chimie que Wœhler faisait à l'université de Gœttingue, prit ses grades en 1842, fut ensuite attaché, comme aide,

au laboratoire de Bunsen, à Marbourg, et se rendit bientôt familiers les procédés d'investigation de ce célèbre savant. Vers la même époque, il fit de fréquentes excursions à Giessen, où il se lia étroitement avec Liebig. Grâce à la protection de Bunsen, Kolbe devint, en 1845, aide de Playfair au laboratoire du musée de géologie économique de Londres, et il se livra dans cet établissement à des recherches sur les propriétés électriques de plusieurs combinaisons organiques, recherches qu'il compléta plus tard à Marbourg, et dont il publia les résultats dans les *Annales de Chimie*, de Liebig (1849). De retour en Allemagne, il vécut d'abord quelque temps à Marbourg, puis se rendit à Brunswick (1847) pour collaborer à la rédaction du *Dictionnaire portatif de Chimie* de Liebig et Wœhler. Lorsque Bunsen eut quitté Marbourg, Kolbe devint professeur de chimie à l'université de cette ville (1851), et il quitta cette chaire, en 1865, pour aller enseigner la même science à Leipzig. Outre de nombreux articles insérés dans divers recueils scientifiques, on a de lui : *Manuel détaillé de Chimie organique* (Brunswick, 1851-1863, 2 vol.), ouvrage fort remarquable; *Le Laboratoire de chimie de l'université de Marbourg* (Marbourg, 1865), recueil des travaux qu'il a exécutés avec ses élèves dans cette ville de 1859 à 1865; etc.

KROTOPHONE (de *krotos*, bruit, et *phôné*, voix). — Nom donné à un nouveau modèle de téléphone imaginé par M. Spaulding de New-York, et qui se compose d'une rondelle de charbon au centre de laquelle appuie la pointe d'un crayon de même matière dont la pression peut être réglée au moyen d'une vis. Cet appareil reproduit la voix humaine par l'entremise de petits *crépitements*, d'où son nom. Deux appareils identiques étant intercalés dans le circuit d'une ligne et d'une pile, il suffit de parler devant l'un pour entendre dans l'autre.

Kruger (Johann-Gottlob), professeur allemand, né en 1745 et mort en 1759. Il a observé que la décharge électrique a une influence chimique sur les fleurs de pavot, qui changent alors de couleur.

LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ. — A la suite de l'Exposition d'électricité qui eut lieu à Paris en 1881, une somme de 325.000 francs, représentant les produits nets de l'entreprise, fut affectée par un décret à l'établissement, à Paris, d'un laboratoire central d'électricité. Il n'existe pas, à proprement parler, dans aucun pays de véritable laboratoire central d'électricité, aussi a-t-on dû se livrer à des études assez longues pour se rendre un compte exact des dispositions à réaliser, étant donné le but de cette création. Le laboratoire central d'électricité aura la mission, d'une manière générale, de fournir au public des indications aussi précises que possible sur la valeur des divers appareils inventés; il doit être en mesure de contrôler la qualité de ceux qui auraient été construits par les électriciens de tous les pays; il doit pouvoir, en outre, expérimenter pratiquement les MACHINES ÉLECTRIQUES, les LAMPES de divers systèmes, les PILES, les CONDUCTEURS, etc., vérifier et étalonner les appareils de mesure, et donner aux électriciens ou aux inventeurs des renseignements de tout genre, propres à les guider ou à les aider dans leurs travaux. En plus, des ateliers de chimie et de physique, annexes indispensables d'un laboratoire d'électricité, permettront d'accorder satisfaction à toutes les exigences des inventeurs et des industriels. Il est nécessaire de ménager, à côté de ces ateliers, une place pour une bibliothèque-musée avec salle de travail, où tous les électriciens, savants ou industriels trouveraient réunis sous leurs yeux des documents aujourd'hui éparpillés dans les diverses collections publiques et privées. On compte établir aussi des salles de conférence où des professeurs viendraient périodiquement exposer les nouvelles applications de la science électrique. Il existe actuellement un laboratoire d'électricité provisoire établi place Saint-Charles, à Paris-Grenelle.

LABOURAGE ÉLECTRIQUE. — Des expériences publiques, faites en 1879 à Sermaise (Marne), ont démontré qu'on pouvait utiliser les MACHINES GRAMME pour remplacer les locomotives routières dans le labourage mécanique. (V. TRANSPORT DE LA FORCE.)

Ladd (William), né en 1815, mort en 1885, inventeur de la machine dynamo-électrique qui porte son nom. Savant électricien, il s'occupait tout particulièrement dans ces dernières années d'éclairage électrique.

LAINE MINÉRALE. — Soorie légère, d'apparence laineuse, mauvaise conductrice de la chaleur, employée en Allemagne pour envelopper les câbles souterrains.

LAMPE ÉLECTRIQUE. — On désigne sous ce nom tout appareil destiné à produire la LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Les lampes électriques se divisent en quatre groupes bien distincts :

- 1^o Les RÉGULATEURS;
- 2^o Les BOUGIES;
- 3^o La LAMPE-SOLEIL;
- 4^o Les lampes à INCANDESCENCE avec combustion et dans le vide.

On trouvera à ces mots ce qui concerne chacun de ces appareils.

Champ d'éclairage des lampes électriques. — La surface éclairée par une lampe varie naturellement suivant la hauteur à laquelle celle-ci est placée. Afin de distribuer les appareils d'éclairage d'une manière sensiblement uniforme, et par suite d'obtenir une bonne répartition de la lumière, il ne faut pas qu'un foyer à incandescence éclaire, d'après M. Herzberg, plus de

8m,00	lorsqu'il est à	2m,00	de hauteur
7m,00	—	2m,50	—
6m,20	—	3m,00	—
6m,00	—	3m,50	—
5m,80	—	4m,00	—
5m,60	—	4m,50	—
5m,40	—	5m,00	—
5m,25	—	5m,00	—

En ce qui concerne les lampes à ARC, M. Herzberg estime qu'un appareil ayant une intensité de 800 bougies peut éclairer soit une cour ayant de 1.200 à 1.500 mètres de superficie, soit des halles de marchés et de gares ayant de 500 à 600 mètres carrés. Enfin, des lampes à arc ayant une intensité de 500 bougies peuvent éclairer des salles d'atelier et de fabrique de 500 mètres carrés (*Revue industrielle*).

LAMPE-SOLEIL. — Nom donné à une sorte de bougie électrique qui présente presque tous les inconvénients de la BOUGIE JABLOCHOFF, mais dont la durée est plus grande. Cette lampe se compose en principe d'un bloc de matière réfractaire (marbre, magnésie, etc.) creusé d'un côté en forme de tronc de pyramide et, en deux points opposés de cette cavité, de deux trous inclinés à environ 45° venant y aboutir et dans lesquels on introduit deux charbons assez gros C et B (*fig. 1*). L'arc, en léchant le fond de la cavité A, la rend incandescente, ce qui augmente dans une certaine mesure la lumière produite et lui donne la teinte dorée qui a fait appeler cette lampe lampe-soleil.

Pour être mise en action cette lampe a besoin d'être amorcée. Primitivement cet amorçage se faisait à l'aide d'un FILAMENT de charbon ou de graphite placé entre les deux extrémités des charbons; il en résultait qu'il fallait démonter la lampe à chaque extinction. On a remédié à cet inconvénient en perçant l'un des

gros charbons et en introduisant dans cette cavité un charbon mince qui vient au contact de l'autre. Un solénoïde spécial a pour effet de retirer ce charbon de petit diamètre en amorçant l'arc voltaïque. Si une

extinction se produit, le charbon auxiliaire reprend sa première position et rallume de nouveau et automatiquement la lampe. Par sa disposition même, la lampe-soleil se prête à l'éclairage des vastes espaces,

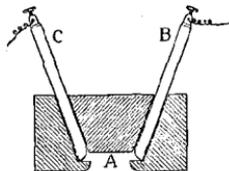


Fig. 1. — Lampe-soleil (coupe).

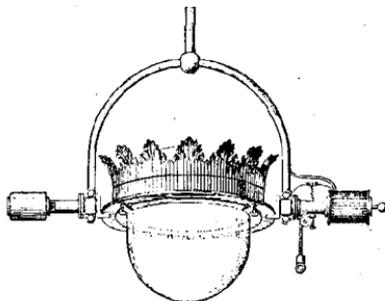


Fig. 2. — Lampe-soleil (vue perspective).

car elle se fixe à une grande hauteur. Elle a un aspect décoratif (v. fig. 2).

LAMPE-TÉMOIN. — Nom sous lequel on désigne des lampes à incandescence placées sur le régulateur d'intensité d'une machine électrique et indiquant par leur fonctionnement les manœuvres à faire. Ainsi, dans le régulateur Edison (v. INCANDESCENCE) il y a deux lampes, l'une à verre rouge, l'autre à verre bleu; lorsque la première s'allume, on sait qu'il faut manœuvrer le régulateur dans un sens déterminé; lorsque, au contraire, c'est la seconde qui s'allume, on est averti qu'il faut manœuvrer le régulateur en sens contraire.

Lampson (sir Curtis), mort le 12 mars 1885. Américain de naissance, naturalisé Anglais, il fut l'un des promoteurs du premier câble transatlantique. Il fut administrateur, puis vice-président de la Compagnie qui entreprit la pose dudit câble, laquelle était terminée avec succès le 27 juillet 1866.

Lanc (Timothée), pharmacien anglais, né en 1734 et mort en 1807, inventeur de la bouteille ou électromètre qui porte son nom et qui est décrit au mot FRANKLINISATION.

LANE (Bouteille ou Électromètre de). — Méd. Cet instrument doit faire partie du matériel de la FRANKLINISATION, d'abord comme instrument de mesure et de graduation, ensuite parce qu'il donne le moyen d'administrer des DÉCHARGES (on disait autrefois *commotions*) parfaitement localisées et de force réglée à l'avance. Pour cela, on met l'ARMATURE intérieure de la bouteille en communication avec la MACHINE électrique, et on attache au crochet de l'armature extérieure et au bouton extérieur de l'électromètre deux conducteurs terminés par des EXCITATEURS. Ceux-ci sont placés sur les extrémités de la partie qui doit recevoir la commotion. Ce procédé est dû à Cavallo. Très négligé maintenant, comme tout ce qui touche à l'électrisation statique, il pourrait rendre service dans beaucoup de cas.

Laplace (Pierre-Simon, marquis de), l'un des plus grands géomètres de notre siècle, né à Beaumont-en-Auge (Calvados) le 28 mars 1749, mort à Paris le 5 mars 1827, fils d'un cultivateur. Il étudia et professa ensuite les mathématiques à l'école militaire établie dans sa ville natale. Déjà connu par de nombreux et importants travaux scientifiques, il succéda, en 1784, à Bezou, comme examinateur du corps de l'artillerie, et prit part à l'organisation de l'École polytechnique et de l'École normale. Membre de l'ancienne Académie des Sciences, il fit naturellement partie de l'Institut lors de sa création; il présidait, en 1796, la députation chargée de présenter au conseil des Cinq-Cents le rapport sur les progrès des sciences. Bonaparte lui confia le ministère de l'Intérieur après le 18 brumaire, mais il reconnut bientôt qu'il apportait dans ces fonctions *l'esprit des infinitésimales*, et, au bout de six semaines, le remplaça par Lucien. Laplace entra au Sénat en 1799, en devint vice-président en 1803, ne s'y fit guère remarquer autrement que par la présentation du rapport sur la nécessité de revenir au calendrier grégorien, et vota la déchéance de l'empereur en 1814. La Restauration le fit pair et marquis. L'Académie française, dont il faisait partie, ayant résolu, dans sa séance de janvier 1827, de mettre sous les yeux du roi une supplique contre le projet de loi sur la répression des délits de la presse, Laplace, qui occupait le fauteuil comme directeur, quitta la séance après avoir vainement tenté de dissuader ses collègues de la démarche qu'ils se proposaient.

Ses principaux ouvrages sont : *Théorie du mouvement et de la figure des planètes* (1784); *Théorie des attractions des sphéroïdes et de la figure des planètes* (1785); *Exposition du Système du monde*, dont cinq éditions ont été publiées de 1796 à 1824; *Traité de Mécanique céleste* (1799); *Théorie analytique des Probabilités* (1812-1814-1820); *Essai philosophique sur les Probabilités* (1814). En outre, les Recueils de l'Institut et le *Journal de l'École polytechnique* contiennent de lui un grand nombre de mémoires sur divers points isolés de la science.

Nous n'insisterons pas sur ses travaux en astro-

nomie, dont on trouvera la liste et la description détaillée dans le *Dictionnaire* de Pierre Larousse.

« Laplace, dit Fourier, fut presque aussi grand physicien que grand géomètre. Ses recherches sur les réfractions, sur les effets capillaires, les mesures barométriques, les propriétés statiques de l'électricité, la vitesse du son, les actions moléculaires, les propriétés des gaz, attestent que rien, dans l'investigation de la nature, ne pouvait lui être étranger... Les théories les plus abstraites ont une beauté d'expression qui leur est propre : c'est ce que l'on remarque dans plusieurs traités de Descartes, dans quelques pages de Galilée, de Newton et de Lagrange. La nouveauté des vues, l'élevation des pensées, leurs rapports avec les grands objets de la nature attachent et remplissent l'esprit. Il suffit que quelque soit pur et d'une noble simplicité : c'est ce genre de littérature que Laplace a choisi, et il est certain qu'il s'y est placé dans les premiers rangs. S'il écrit l'histoire des grandes découvertes astronomiques, il devient un modèle d'élegance et de précision. Aucun trait principal ne lui échappe; l'expression n'est jamais ni obscure ni ambitieuse. Tout ce qu'il appelle grand est grand en effet; tout ce qu'il omet ne méritait pas d'être cité... Ses successeurs verront s'accomplir les grands phénomènes dont il a découverts les lois. Ils observeront dans les mouvements lunaires les changements qu'il a prédits et dont lui seul a pu assigner la cause. L'observation continuelle des satellites de Jupiter perpétuera la mémoire de l'inventeur des théorèmes qui en règlent le cours. Les grandes inégalités de Jupiter et de Saturne, poursuivant leurs longues périodes, et donnant à ces astres des situations nouvelles, rappelleront sans cesse une de ses plus étonnantes découvertes. Voilà des titres d'une gloire véritable, que rien ne peut anéantir. Le spectacle du ciel sera changé; mais à ces époques reculées, la gloire de l'inventeur subsistera toujours; les traces de son génie portent le sceau de l'immortalité. »

LAPLACE (Formule de). — Expression mathématique donnant la valeur de la force exercée par un élément de courant sur un pôle. (V. LOIS ÉLECTRIQUES.)

LAPLACE (Équation de). — Équation établie par Laplace pour exprimer la somme ΔV en un point

donné des trois dérivées secondes partielles du potentiel, par rapport à trois axes rectangulaires :

$$\Delta V = - \frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

D étant la densité de la masse agissante au point considéré. On voit que la somme des trois dérivées secondes partielles du potentiel par rapport aux coordonnées s'obtient en multipliant la densité D par -4π

Lartigue (Henri), né à Saint-Mandé le 30 septembre 1830, mort à Paris en novembre 1884; ingénieur électricien. Il fit ses premières études au séminaire d'Auch. Sous l'influence du savant abbé Dupuy, son goût pour les sciences physiques et naturelles se développa rapidement. A peine muni de grades universitaires, Lartigue fut nommé professeur de physique, chimie et histoire naturelle au lycée d'Auch. En 1855, Le Verrier, directeur de l'Observatoire de Paris, voulant organiser un service spécial d'observations météorologiques et ayant entendu parler des aptitudes de Lartigue, lui confia la conduite et la surveillance de tous ces appareils ingénieux qu'enregistrent au moyen de la photographie et de l'électricité les moindres variations du baromètre, du thermomètre et de la boussole. Mêlé dès lors aux travaux et aux découvertes de Le Verrier, d'Yvon Villarceau, d'Emmanuel Liass et surtout de Léon Foucault, il se passionna pour la science, alors en pleine période de développement, des applications de l'électricité. En 1859, Lartigue quitta l'Observatoire pour entrer dans l'administration du chemin de fer du Nord, où ses aptitudes spéciales le firent charger du service télégraphique. Il tourna ses recherches vers les perfectionnements des appareils destinés à augmenter la sécurité des trains. Tout le monde a vu aux Expositions de Paris (1878 et 1881), Vienne, Bruxelles, etc., ses ingénieux ÉLECTRO-SÉMAPHORES, son SIFFLET ÉLECTRO-AUTOMOTEUR, son CONTRÔLEUR d'aiguilles, etc. Ces inventions multiples valurent à son auteur de nombreuses médailles d'or et le conduisirent à être nommé en mai 1880 directeur de la Société des téléphones. Lartigue faisait partie du Comité consultatif des chemins de fer; il était chevalier de la Légion d'honneur et chevalier de l'ordre de François-Joseph d'Autriche.

LARYNGOSCOPE ÉLECTRIQUE. — Instrument destiné à l'examen du larynx. Il se compose essentiel-

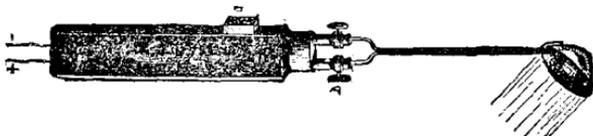


Fig. 1. — Laryngoscope Trouvé.



Fig. 2. — Laryngoscope électrique. (Chardin.)

lement d'une petite lampe à incandescence dont les rayons lumineux sont réfléchis sur les organes par un miroir qui sert en même temps à renvoyer à l'œil de l'observateur l'image des parties éclairées.

Le laryngoscope électrique de M. Trouvé, repré-

senté fig. 1, se compose d'une lampe à incandescence minuscule analogue à celle des bouges lumineux, d'un miroir en glace ou en acier poli et d'un manche à pédale sur lequel il s'adapte. La source électrique est fournie par une batterie à treuil à grand débit (sys-

tème Trouvé) ou par les batteries portatives du même auteur ou enfin par ses batteries de poche. L'intensité lumineuse est graduée par le *NEOSTAR* qui fait partie du *LYSCOPE*. Cet instrument date de 1881; en 1870 M. Trouvé avait fait un appareil semblable dans lequel la source lumineuse était constituée par un fil de platine nu porté à l'incandescence.

Le laryngoscope de M. Chardin, représenté *fig. 2*, est un appareil analogue au précédent et qui n'en diffère que par quelques détails de construction.

Lemonnier (Pierre-Charles), astronome français, né à Paris en 1745, mort en 1799. Il fut le confident et le continuateur de Halley et de Bradley, et le premier maître de Lalande. Admis dès l'âge de seize ans par Pouchy et Godin à se servir des instruments de leur observatoire, il entra à l'Académie des Sciences le 24 avril 1786, fut peu de temps après associé à Maupeituis, Clairaut et Camus dans leur mission au pôle nord, et devint professeur au Collège de France. Lemonnier fut l'astronome privilégié de Louis XV, qui lui donna une collection d'instruments et lui fournit les moyens d'avoir son observatoire. Il a écrit plusieurs mémoires sur diverses questions d'astronomie et de physique. Ses travaux sont plus étendus que remarquables. Suivant certains auteurs, il s'occupa de diverses questions concernant l'électricité; il essaya d'en mesurer la vitesse, constata sa présence dans l'atmosphère à l'état aérofin, et publia les ouvrages intitulés : *Recherches sur la Communication de l'électricité* (1746); *Observations sur l'électricité de l'air* (1747); *Lois du magnétisme* (1766). Suivant d'autres auteurs, ces travaux seraient dus à son frère Louis-Guillaume, médecin de Louis XV et de Louis XVI, né le 27 juin 1717 et mort à Montreuil, près Paris, en 1799.

Lenz (Henri-Frédéric-Émile), professeur à l'université de Saint-Petersbourg, né à Dorpat le 12 février 1804, mort à Rome le 16 février 1865. Il s'occupa de questions relatives à l'électricité; il rechercha notamment l'influence de la température sur la résistance électrique des corps, les lois des électro-aimants en collaboration avec Jacobi; il s'occupa des courants. Ses travaux sont insérés dans les *Mémoires de l'Académie de Saint-Petersbourg* (1831-1833); les *Bulletins scientifiques de l'Académie de Saint-Petersbourg* (1836-1842); le *Bulletin physico-mathématique de l'Académie de Saint-Petersbourg* (1843-1852). — Lenz est surtout célèbre par la découverte de la loi sur les courants induits, loi qui porte son nom. (V. *INDUCTION*, LENZ [*loi de*] et *LOIS ÉLECTRIQUES*.)

LENZ (Loi de). — Loi relative à l'action réciproque d'un courant induit et d'un courant inducteur.

« Lors du déplacement relatif d'un courant et d'un circuit, les courants qui prennent naissance dans celui-ci font naître des forces qui s'opposent au mouvement qui les produit. »

Autrement dit : Le courant induit développé à chaque instant est de sens tel qu'il tend à gêner le mouvement.

Le Sage (Georges-Louis), professeur de mathématiques, correspondant de l'Institut, né à Genève le 13 juin 1724, mort dans cette ville le 9 novembre 1803. — Il imagina, en 1774, un télégraphe électrique formé de 24 pendules à balle de suraun reliés à 24 fils conducteurs et représentant les 24 lettres de l'alphabet. — Il a publié un ouvrage intitulé :

Dissertation sur l'électricité appliquée à la transmission des nouvelles.

LEVIER-AIGUILLEUR. — Organe de l'appareil télégraphique multiple de M. Baudot. (V. *TÉLÉGRAPHIE*.)

LEYDE (Bouteille de). — (V. *BOUTEILLE DE LEYDE*.)

Lichtenberg (Georges-Rodolphe), physicien allemand, né à Ober-Ramstedt le 1^{er} juillet 1744, mort à Göttingue le 24 février 1799; célèbre par l'expérience désignée sous le nom de *FIGURES DE LICHTENBERG*.

LICHTENBERG (Figures de). — V. *FIGURES DE LICHTENBERG*.

LIGATURE. — Procédé employé pour raccorder les extrémités de deux fils télégraphiques ou téléphoniques ou de deux portions d'un même fil. (V. *LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE*.)

LIGNE AGONIQUE. — Lieu des points de nulle déclinaison.

LIGNE DE FOI. — Droite tracée sur l'alidade d'un instrument gradué, et servant à indiquer la direction du centre de l'instrument à l'objet visé. (V. *BOUSSOLE*.)

LIGNE DE FORCE. — (V. *CHAMP MAGNÉTIQUE*, *AIMANTATION* et *CHAMP ÉLECTRIQUE*.)

LIGNE ISOCLINE. — Lieu des points d'égal inclinaison. (V. *ISOCLINE*.)

LIGNE ISODYNAMIQUE. — Lieu des points d'égal intensité. (V. *ISODYNAMIQUE*.)

LIGNE ISOGONIQUE. — Lieu des points d'égal déclinaison. (V. *ISOGONIQUE*.)

LIGNE NEUTRE. — Ligne située entre les deux pôles d'un aimant et où aucun symptôme de MAGNÉTISME ne se manifeste.

LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE. — Conducteur métallique isolé reliant entre eux des POSTES ou BUREAUX télégraphiques quelconques.

La construction des lignes télégraphiques a été étudiée dans de nombreux ouvrages. Nous ne donnerons ici que des renseignements très sommaires, et nous indiquerons les particularités mises en évidence à la dernière Exposition d'électricité de Paris (1881), en analysant le rapport de M. J. Raynaud.

1^o LIGNES AÉRIENNES.

Les lignes aériennes sont formées de trois éléments essentiels : les FILS, les ISOLATEURS et les appuis.

On a vu, au mot *CONDUCTEUR*, que les fils employés à la construction des lignes aériennes étaient en fer galvanisé, et que depuis quelques années on essayait les conducteurs en bronze silicieux ou phosphoreux.

Le raccordement des fils est une opération importante. Le joint doit résister à la traction et il ne doit pas diminuer la conductibilité électrique de la ligne. On emploie divers procédés pour opérer la ligature des fils; le plus simple consiste à les enrouler sur une longueur de 0^m,20 l'un autour de l'autre en hélice après les avoir découpés, de manière à former une

torsade maintenue à ses extrémités dans deux étaux appelés *mâchoires* (fig. 1).

Cette torsade est très solide, mais se casse fréquemment dans les fils non recuits. Pour ces fils, on fait la torsade plus simplement, mais moins solidement; on pince à cet effet les deux fils dans une mâchoire, et de chaque côté on enroule l'extrémité de

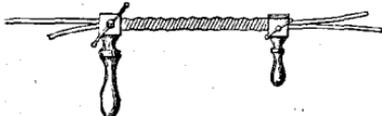


Fig. 1.

l'un des fils autour de l'autre, ce qui donne l'aspect AB à la ligature, dite *ligature espagnole* (fig. 2). Un procédé plus usuel consiste à replier les fils l'un contre l'autre et à les entourer de spires très serrées d'un fil métallique fin, comme en CD (fig. 3). On a



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.

aussi employé des serre-fils EF percés de trous dans lesquels viennent se placer les fils, que l'on recourbe à leurs extrémités (fig. 4).

On a amélioré le joint CD en soudant le fil fin enroulé en spirale autour des deux extrémités du fil de ligne. Ce genre de ligature est encore en usage en Angleterre, de là son nom de *joint anglais*.

Les autres modes de jonction décrits ci-dessus ont été abandonnés.

En France, la jonction du raccordement des fils se fait au moyen du manchon soudé de M. Baron. Ce manchon, représenté fig. 5, est un petit cylindre creux aplati ou ovalisé, en fer galvanisé, qui porte un évidement sur l'une de ses faces. Les fils à réunir y sont



Fig. 5.

introduits côte à côte et leurs extrémités sont repliées en crochet dans deux entailles pratiquées aux deux bouts du manchon. On coupe ensuite les extrémités des fils qui dépassent la paroi du manchon, puis la soudure est introduite goutte à goutte avec le fer à souder dans l'intérieur, de manière à remplir complètement le manchon en enveloppant les fils.

A propos de la soudure des fils, il nous paraît intéressant d'indiquer ici un procédé expéditif employé en Russie pour souder les fils rouillés et sales: on projette dans le vase qui contient la soudure liquéfiée du sel ammoniac; ce dernier fond et il se

forme au-dessus du métal en fusion une couche d'un liquide noir dans lequel on plonge les extrémités des fils à souder. Après cette immersion, on les trempe dans la soudure liquéfiée. On répète au besoin cette opération; mais, généralement, il suffit d'une ou deux immersions. Lorsqu'on ne peut immerger l'objet à souder, on l'arrose d'abord avec le liquide noir, puis avec la soudure fondue. En opérant ainsi on évite le nettoyage préalable du fil, nettoyage qui souvent est long et difficile.

On trouvera dans le *Journal télégraphique international* de Berne, années 1876-1874, des articles intéressants sur la construction des lignes aériennes dans les divers pays. A consulter également sur ce sujet les traités de Blavier pour la France, de Preece et Sivewright, de Culley pour l'Angleterre, et de Zetzche pour l'Allemagne; le *Guide de l'Administration italienne*, etc.

Pose des lignes. — On commence par déterminer l'emplacement des appuis, le nombre des fils à placer, le nombre des appareils secondaires à poser.

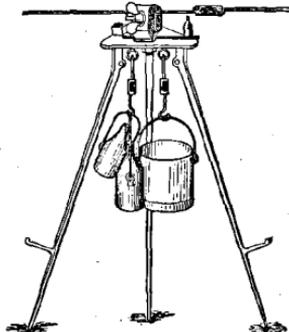


Fig. 6. — Établi volant.

On installe ensuite les poteaux, les appuis nécessaires; on fixe les ISOLATEURS, puis on relie les fils aux poteaux; les fils sont amenés par couronnes de 200 mètres.

Fig. 7.
Mâchoire à tendre.Fig. 8.
Mâchoire à tordre.

que l'on déroule sur place; des ouvriers spéciaux font les ligatures et les arrêts.

Nous donnons (fig. 6) la vue d'un établi volant pour la construction des lignes; d'une mâchoire à tendre (fig. 7); d'une mâchoire à tordre (fig. 8); d'une clef à

vis tête carrée (fig. 9), indispensable pour tourner les vis qui fixent les isolateurs sur les poteaux; enfin d'une paire de mouffes (fig. 10) pour tendre les fils et les haubans.

On trouvera aux mots ISOLATEUR et POTEAU les



Fig. 9.

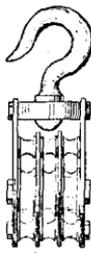


Fig. 10.

détails relatifs à ces deux éléments des lignes télégraphiques aériennes.

Prix de revient. — Les frais d'établissement d'une ligne sont très variables; ils dépendent des conditions de pose, de la plus ou moins grande valeur des isolateurs et du fil choisis, du nombre des appuis, etc. Dans les meilleures, mais les plus chères conditions, une ligne revient, par kilomètre, à 250 francs environ pour le matériel seulement.

Voici, au reste, le détail pour une ligne en poteaux de 8 mètres et fil de fer de 4 millimètres :

44 poteaux + 4 pour poteaux jumelés ou courbes,	
soit 48 poteaux à 40 francs.....	180 fr.
400 kilogrammes de fil.....	40 à 50
16 isolateurs à 4 francs.....	16
32 vis à 0 fr. 10.....	3,30
Environ..... fr.	219,20

soit 250 francs.

Mais il faut ajouter la main-d'œuvre, qui se chiffre comme suit :

Plantation de 48 poteaux à 3 francs l'un..	54 fr.
Pose des isolateurs et du fil.....	8
Distribution à pied d'œuvre et peinture.....	42

Environ..... 74 fr.

soit 75 francs, en chiffre rond.

Ajoutant enfin 0 fr. pour les frais généraux, imprévu, etc., on arrive à 360 francs le kilomètre.

Par fil supplémentaire de 4 millimètres, ajouter 80 francs.

Pour une ligne en poteaux de 6 mètres et fil de 3 millimètres, la dépense pour poteaux et plantation est de 190 francs, et il faut ajouter 60 francs par fil.

Pour les cas particuliers où les poteaux doivent supporter un grand nombre de fils et résister à de grands efforts l'usage des appuis métalliques est naturellement indiqué; de même dans les points d'accès difficile où l'entretien serait pénible et coûteux.

Voici maintenant le prix d'établissement, par kilomètre, d'une ligne en fil de bronze silicieux de 1,5 millimètre de diamètre correspondant comme résistance au fil de fer de 4 millimètres de diamètre :

48 poteaux de 8 mètres à 40 francs.....	180 fr.
46 isolateurs à 4 francs.....	160
32 vis à 0 fr. 10.....	3,20
46 kilogrammes de fil à 3 francs.....	48

Soit..... 247,20

Main-d'œuvre comprenant : plantation de poteaux, pose des isolateurs et du fil, distribution à pied d'œuvre..... 75

Total..... 322,20

Plus 10% pour imprévu, etc..... 32,20

354,40

Le prix de revient kilométrique d'une ligne en fil de bronze silicieux de 1,2 millimètre de diamètre offrant la même résistance qu'une ligne en fil de fer de 3 millimètres ressort à 334 fr. 84; les frais pour poteaux, isolateurs, vis, plantation et pose sont les mêmes que ci-dessus, mais le poids du fil est de 10,08 kilogrammes, soit 30 fr. 24 à raison de 3 francs le kilogramme; le prix total est ainsi de 304 fr. 44; si on y ajoute les 10 % d'imprévu, soit 30 fr. 40, on arrive bien au total indiqué de 334 fr. 84.

Entretien des lignes. — Des agents spéciaux sont chargés de surveiller les lignes et de réparer les accidents; ils relient les fils rompus, remplacent les isolateurs cassés et redressent les poteaux qui se courbent ou se penchent. Cet entretien doit être constant et particulièrement soigné à l'approche de l'hiver où les pluies causent de grandes pertes de fluide.

La construction des lignes repose sur quelques principes généraux très simples. Il convient de diminuer le nombre des appuis au point de vue de l'économie et de l'isolement. Le fil doit être complètement libre et ne pouvoir jamais rencontrer d'obstacle dans ses mouvements. Il faut diminuer la tension des fils autant que possible; cette condition est limitée par deux autres, un écartement convenable des appuis, la distance à laquelle le fil doit être du sol. Il faut aussi observer que la distance des appuis doit être calculée de façon à empêcher les fils voisins de se toucher, ce qui produirait des dérangements appelés MÉLANGES. La tension d'un fil de 4 millimètres doit être, en température moyenne, de 65 kilogrammes. Il convient de pouvoir déterminer cette tension au moyen de procédés spéciaux, à l'époque même de la pose du fil.

Le long des voles ferrées, un exhaussement de 2 mètres au-dessus du sol est suffisant; les poteaux sont placés sur la banquette voisine, à 1^m,50 au moins du rail le plus voisin et suivent toujours le même côté de la voie, sauf aux croisements. Sous les ponts, les isolateurs sont fixés à la voûte; dans les tunnels sujets à une très grande humidité, on emploie des câbles, mais autant que possible, cette disposition étant imparfaite, il convient de placer la ligne *au-dessus des souterrains*.

Le long des routes, des canaux, dans les villes, il y a peu de difficultés à résoudre pour l'établissement d'une ligne électrique. Sur les routes ordinaires, on exhausse les fils à une hauteur moyenne de 3 mètres, pour éviter les accidents dus à la malveillance; aux traversées de routes, cette hauteur est élevée à 4^m,50, pour le passage des voitures de fourrages; dans les villes, à 5 ou 6 mètres. Les poteaux sont plantés sur le bord de la route, sur les crêtes des talus afin d'élever le fil. Si les routes sont très sinueuses, à flanc de roteau par exemple, on n'en suit pas les bords et on coupe les terrains avoisinants pour raccourcir la ligne sans trop s'écarter de la direction générale de la route. Cela a l'inconvénient, il est vrai, de rendre la surveillance moins facile.

Les dérangements des lignes aériennes du fait de

la malveillance sont devenus assez rares. Le givre et la neige produisent des ruptures du fil par l'augmentation de poids, et cette considération est assez importante pour faire préférer certaines dispositions particulières dans les lignes des pays très froids.

Vitesse et propagation de l'électricité dans les lignes télégraphiques. — M. Hagenbach Bischoff a employé la méthode suivante pour mesurer la vitesse de propagation de l'électricité dans les lignes télégraphiques aériennes. Cette méthode est analogue à celle dont M. Lissajous s'est servi pour l'étude des vibrations sonores. En voici l'exposé, d'après le journal *la Nature* : « Deux diapasons pouvant exécuter des vibrations isochrones, et portant chacun sur l'une de ses branches un petit miroir, sont placés, l'un horizontalement, l'autre verticalement, à peu de distance l'un de l'autre. Un faisceau lumineux émergeant d'une petite ouverture circulaire tombe sur un de ces miroirs; de là il est réfléchi sur l'autre miroir, qui le renvoie vers l'œil de l'observateur. Si on ébranle le diapason horizontal, l'image s'allongera dans le sens horizontal. Si c'est le diapason vertical qui entre en vibration, elle s'allongera dans le sens vertical; si les diapasons sont ébranlés tous les deux, et de telle façon que les vibrations de chacun d'eux commencent au même instant, on aura encore une image allongée, mais inclinée à 45°. Si, au contraire, il y a une différence de phase entre les vibrations horizontales et verticales, c'est-à-dire si ces vibrations ne commencent pas en même temps, on obtiendra, au lieu d'une ligne droite, une ellipse plus ou moins allongée. Dans les expériences de M. Bischoff, les vibrations étaient entretenues au moyen d'ÉLECTRO-AIMANTS placés à une faible distance et faisant partie du circuit d'une même PILE. Les diapasons ouvraient eux-mêmes et fermaient alternativement le circuit; on avait ainsi une succession de courants de très courte durée. Le fil de sortie d'une des bobines était relié au fil d'entrée de l'autre, de sorte que le courant pouvait aller directement de la première à la seconde. Le circuit de la pile étant fermé, on ébranlait les deux diapasons au moyen d'un archet et l'on obtenait une ellipse dont la forme dépendait de la différence de phase déterminée par les deux coups d'archet. En intercalant alors entre les deux électro-aimants différentes RÉISTANCES fournies par des LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES de longueurs connues, on voyait se modifier la forme de l'ellipse; on en mesurait les axes, et le calcul indiquait quels étaient dans les différents cas, les retards du second diapason par rapport au premier. »

On constata tout d'abord qu'on faisait varier l'intensité du courant on ne faisait que diminuer ou augmenter l'amplitude des vibrations sans modifier la forme de l'ellipse. *Le temps de retard est donc indépendant de l'intensité du courant.* Les expériences ont été faites entre Bâle et différentes villes. Voici le tableau des résultats obtenus, où t est le temps exprimé en secondes, l la longueur exprimée en kilomètres et réduite en une longueur équivalente de fil de fer du diamètre ordinaire : cette réduction était rendue nécessaire par ce fait que les fils n'étaient pas identiques entre eux.

De Bâle à	l longueur réduite (kilom.).	t temps (en secondes).	$\frac{10 t}{l}$
Lucerne.	28,8	0,00106	217
Oltén.	457,5	0,00052	210
Sissach.	415,8	0,00030	216
Liestal.	97,6	0,00023	227

En interprétant ces résultats et en s'appuyant sur deux principes fondamentaux en électricité, savoir :

1° *Que pour l'électricité statique, la QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ et le POTENTIEL sont proportionnels;*
2° *Que pour l'électricité dynamique, il y a également proportionnalité entre l'intensité et la différence de potentiel,*

on a pu formuler la loi suivante :

Le temps de charge est indépendant de la valeur absolue du potentiel; il est proportionnel au carré de la longueur du fil, à sa CAPACITÉ ÉLECTRIQUE et en raison inverse de son coefficient de CONDUCTIBILITÉ.

On appelle ici *temps de charge* le temps nécessaire à l'établissement du courant à travers tout le circuit à partir de l'instant où ce circuit est fermé.

D'après cette loi, le temps de charge divisé par le carré de la LONGUEUR RÉDUITE doit être constant pour tous les fils; c'est ce qu'indiquent, en effet, les nombres de la quatrième colonne; si l'on considère les longueurs réduites de fils de différentes natures, cette quantité doit être proportionnelle aux capacités électriques et en raison inverse des coefficients de conductibilité.

Ces expériences ne permettent pas de déterminer la vitesse de propagation de l'électricité dans un conducteur où l'équilibre électrique est établi. On a été conduit par des considérations théoriques à admettre que cette dernière vitesse est très voisine de celle de la lumière.

On trouvera les études de M. Hagenbach Bischoff publiées *in extenso* dans le *Journal télégraphique de Berne*, années 1886-1887.

2° LIGNES SOUS-MARINES.

(V. CABLES sous-marins.)

3° LIGNES SOUTERRAINES.

Les premières lignes télégraphiques souterraines remontent à l'origine même de la télégraphie électrique.

Voici un historique succinct des divers essais faits dans la construction des lignes télégraphiques souterraines (*Société des ingénieurs télégraphistes et électriciens de Londres. Communication de M. Fleetwood, 1887*).

En 1816, M. Ronalds fit le premier essai d'une ligne souterraine, dont il publia les résultats en 1823 (*Description d'un télégraphe électrique et de plusieurs autres appareils électriques*). Le fil de cuivre était contenu dans une conduite formée de tuyaux de verre mastiqués avec de la cire molle; cette conduite était enfermée dans un chéneau en bois.

En 1837, Cook et Wheatstone indiquaient dans l'un de leurs brevets la manière de poser les fils souterrains et établissaient une communication entre Euston Square et Camden Town à l'aide de cinq fils de cuivre placés dans autant de fentes incurvées dans des pièces de bois. Ces fils étaient recouverts de coton et trempés dans de la résine, puis les fentes étaient refermées. Ils construisirent ensuite une ligne souterraine formée de câbles contenus dans un conduit en fer.

Natcher introduisit l'usage des tuyaux de plomb pour renfermer les fils de cuivre, préalablement recouverts de coton et d'une substance isolante.

L'*Electric Telegraph Company* construisit une ligne souterraine avec enveloppe de plomb; le tuyau qui contenait les fils était rempli d'un mélange de goudron et de résine. Des fragments de cette ligne ont été retrouvés en bon état quarante ans après leur pose.

L'introduction de la gutta-percha en Europe date de l'année 1812. Cette même année, la première ligne souterraine avec fils isolés à la gutta-percha fut posée à Londres.

En 1847, MM. Siemens et Halske construisirent une machine permettant de recouvrir les fils d'une manière continue avec la gutta-percha. L'année suivante, M. Ricardo breveta un appareil du même genre, et MM. Barlow et Forster prirent un brevet pour un procédé d'application de la gutta-percha à l'isolement des lignes. La Prusse se lança immédiatement dans la construction des lignes souterraines. En 1853, les principales Compagnies télégraphiques d'Angleterre suivirent l'exemple et des lignes souterraines furent établies entre Londres, Manchester et Liverpool.

En 1854, l'*Electric Telegraph Company* avait posé 15 milles de câbles ainsi isolés. En 1855, on construisit aussi des lignes en fil de fer de 6 millimètres noyé dans du bitume. A cette époque, la *Magnetic Telegraph Company* construisit un grand nombre de lignes souterraines, qui furent abandonnées en 1857-1858 et remplacées par des lignes aériennes. L'insuccès obtenu tenait aux procédés de fabrication défectueux; mais ces procédés ont été améliorés, et l'on trouvera au mot CÂBLE les détails de construction de ces conducteurs.

Cette amélioration était d'autant plus désirable qu'on avait reconnu la nécessité de compléter les réseaux aériens par des réseaux souterrains permettant d'assurer en tout temps les principales communications, à cause des désordres que les ouragans amènent dans les lignes aériennes, des perturbations que ces lignes éprouvent par l'effet des changements de température, etc.

En 1868, l'Administration française a construit une ligne souterraine à 28 fils entre Paris et Juvisy (30 kilomètres) servant d'amorce aux fils aériens des lignes de Lyon et d'Orléans; en 1872, une ligne de 21 fils a relié Paris à Versailles.

En 1871, une ligne à 14 fils a été construite entre Liverpool et Manchester.

En 1875, l'Allemagne est entrée franchement dans la voie des lignes souterraines à grande distance. La ligne de Berlin-Halle (170 kilomètres), terminée en juin 1876, a une capacité électro-statique de 0,22 MICROFARAD par kilomètre. En juin 1885, le réseau souterrain de l'Allemagne a atteint un développement de 5.645 kilomètres.

En 1879, l'établissement d'un grand réseau souterrain a été décidé en France. Les câbles sont enfermés dans des conduites de fonte émaillées. Ce réseau avait une longueur de 1.666 kilomètres en 1885.

En Angleterre, lorsqu'on construisit le réseau téléphonique (1880), on posa des câbles à 4 conducteurs et on installa une ligne souterraine du système Brooks (v. CÂBLE); mais on reconnut que le système ne pouvait être employé dans les villes à grande circulation, comme Londres par exemple, la trépidation du sol ayant pour conséquence de déterminer des fissures aux joints et la fuite de l'huile contenue dans la conduite. Il existe actuellement (1887) à Londres 390 kilomètres de lignes souterraines dans des tuyaux en fer avec 20.000 kilomètres de fil.

Jusqu'à ces dernières années on n'employait en Amérique que des fils aériens; mais le développement ininterrompu des réseaux téléphoniques et télégraphiques, sans compter l'établissement de distributions d'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE, a eu pour effet, aux États-Unis, d'encombrer les rues de certaines villes de poteaux, consoles et supports de toute nature. Les habitants se sont plaints à mainte reprise de cet envahissement, et les municipalités ont décidé en

principe la suppression des fils aériens et leur remplacement par des conducteurs souterrains. En même temps les nouvelles compagnies qui demandent des autorisations de voirie furent astreintes à poser leurs câbles sous terre.

Le remplacement des fils aériens par des câbles se poursuit donc, et en 1885 on comptait à Chicago 2.800 mètres de conduites, avec 96 kilomètres de fils appartenant à la *Compagnie de la Cité*; 12.500 mètres de conduites, avec 240 kilomètres de fils à la *Sectional Conduit Company*; 16.000 mètres de conduites avec 610 kilomètres de fils à la *Western Union*; 4.830 mètres de conduites, avec 1.120 kilomètres de fils à la *Chicago Telephone Company*; 31.200 mètres de conduites, avec 800 kilomètres de fils à la *Bankers and Merchant Company*. Il existe à Chicago près de 2.900 kilomètres de fils souterrains et une variété de dispositions plus ou moins brevetées pour leur logement dans le sous-sol des rues.

Il est probable que dans toutes les grandes villes américaines les réseaux aériens n'existeront bientôt plus. A New-York, la commission nommée pour étudier le meilleur système de lignes souterraines, s'est prononcée en faveur d'une conduite en béton asphaltique avec regards de distance en distance pour pouvoir retirer les fils.

Ainsi donc, le principe du réseau souterrain n'est plus contesté; quand une ligne souterraine fait suite à une ligne aérienne, la jonction des deux conducteurs a lieu par l'intermédiaire d'un PARATONNERRE, de manière que les décharges atmosphériques qui viendraient à se produire sur le fil aérien ne puissent endommager le fil souterrain.

Prix de revient. — Voici quelques renseignements concernant le prix de revient des lignes souterraines.

Lignes en tranchée (tuyaux de 0^m.070). — Pour une ligne de 4 câbles à 7 conducteurs, on compte en moyenne 590 francs par kilomètre et par conducteur, non compris la réfection du pavage, estimée à 2 francs le mètre. La fourniture et la pose de la conduite peuvent être évaluées à 6 francs le mètre.

Pour une ligne en galerie à 1 câble à 7 conducteurs : 3 fr. 50 par mètre (câble 2 fr. 90; pose 0 fr. 60).

Pour les câbles téléphoniques : câbles à 2 conducteurs sous plomb le mètre 0 fr. 60; à 4 conducteurs 3 francs.

Câble à 1 conducteur sous enveloppes 0 fr. 30; sous plomb : 0 fr. 50.

Lignes à grandes distances. — Lignes en conduite : câbles à 3 conducteurs 4 fr. 60 le mètre; tuyaux de 0^m.40 : 4 fr. 70 le mètre; tuyaux de 0^m.50 : 2 fr. 10; tuyaux de 0^m.60 : 2 fr. 70. Pour une ligne de 9 fils en moyenne, compter environ 1 franc par mètre et par conducteur.

COMPARAISON ENTRE LES LIGNES AÉRIENNES ET LES LIGNES SOUTERRAINES.

L'emploi des lignes souterraines en télégraphie a donné lieu, en 1885, à une consultation de MM. William Thomson et Fleeming Jenkin, dont voici les passages essentiels.

« MM. Siemens recommandent le câble souterrain semblable à celui dont se sert le gouvernement allemand. Ce câble contient 7 torons de cuivre pesant chacun 90 livres (40 k. 77) par mille (1.600 m.), et isolés par de la gutta-percha pesant 70 livres (31 k. 42) par mille. Les 7 torons isolés sont enveloppés par 24 fils de fer galvanisés chacun de 2,7 millimètres de diamètre. Le poids du fer est environ de 4.980 livres

(1.818 k.) par mille. Ces fils de fer sont protégés par du jute et une composition spéciale. Le poids total du câble est environ 6.100 livres (2.733 k.) par mille. Sa résistance à la rupture est de 4.500 kilogrammètres. L'expérience a prouvé que les câbles de ce type enterrés dans le sol sans autre protection ont une très grande durée et sont peu exposés à des avaries accidentelles. On ne peut leur assurer une durée précise. Aucun insecte n'a attaqué la gutta-percha. MM. Thomson et Jenkin pensent qu'au point de vue de la durée et de la suppression des avaries les câbles souterrains donnent des résultats très satisfaisants. Ils ajoutent que la transmission des dépêches par fils souterrains est soumise à deux actions qui tendent à limiter le nombre des signaux qui peuvent être échangés entre deux stations dans un temps donné. Le terme *induction* est ordinairement employé pour désigner ces deux actions qui peuvent être distinguées l'une de l'autre : en *induction statique* entre les conducteurs de cuivre et la terre et *induction magnétique* entre les fils isolés voisins. L'induction magnétique peut être négligée et on peut neutraliser ses effets dans une certaine mesure par des dispositions judicieuses. Quant aux effets de l'induction statique, ils ne peuvent être appréciés par aucun moyen connu. C'est à cette induction statique qu'est due la limitation de la vitesse dans les câbles sous-marins et dans les câbles souterrains. On peut calculer très exactement la capacité de transport des longues lignes souterraines d'un type donné quand on les exploite avec les instruments en usage pour les lignes sous-marines. Ainsi, avec le câble allemand ci-dessus décrit, en se servant du *SIPHON RECORDER* ou du *GALVANOMÈTRE À MIROIR*, un bon employé pourrait transmettre en plein travail de vingt à trente mots par minute sur une longueur ne dépassant pas 1.600 kilomètres. Il se pourrait que l'induction magnétique des fils entre eux devint gênante sur de pareilles longueurs. La conclusion de MM. Thomson et Jenkin est que la transmission par câbles souterrains peut lutter dans de bonnes conditions avec la transmission par fils aériens, et ils ont dû se rendre compte de ce que serait l'exploitation des câbles souterrains avec les appareils ordinaires. M. Proce, sur leur demande, a fait des essais sur quelques lignes souterraines nouvellement établies dans les environs de Londres. Avec un bon récepteur Morse et un transmetteur automatique Wheatstone on a obtenu les résultats suivants :

LONGUEUR DE LA LIGNE.	MOTS TRANSMIS PAR MINUTE.
27 milles = 43.200 mètres.	plus de 200
88 — = 140.800 —	130
116 — = 183.600 —	100
181 — = 289.600 —	35

La conclusion de ces essais est donc que : pour de faibles distances (30 milles ou 48 kilom. par exemple) on peut employer des transmissions très rapides par les instruments automatiques en DUPLEX et même en QUADRUPLIX ; pour des lignes de 100 milles ou 160 kilomètres on peut encore employer les instruments automatiques, mais les effets de l'induction statique deviennent sensibles et on ne peut alors dépasser la vitesse de 130 mots par minute ; on pourrait, sans inconvénient sensible, employer des appareils manœuvrés directement par l'opérateur sur toutes les lignes de moins de 200 milles ou 320 kilomètres, et à cette distance des relais pourraient transmettre à nouveau les signaux de manière à relier des points éloignés de 500 milles ou 800 kilomètres au moins. Il n'est pas douteux que les câbles souterrains se

préteraient à une exploitation comparable à celle des lignes où l'on n'emploie pas les appareils automatiques. Les frais d'établissement des lignes souterraines sont de beaucoup supérieurs à ceux des lignes aériennes, mais les premiers ont un avantage incontestable au point de vue de l'entretien. MM. Thomson et Jenkin ajoutent que, contrairement à l'idée émise par certains électriciens, des lignes posées partiellement à l'air libre et partiellement dans le sol ne seraient pas plus difficiles à exploiter que si elles étaient entièrement aériennes ou souterraines. La théorie indique, en effet, que l'addition d'une longue ligne aérienne à une ligne souterraine déjà longue elle-même, se traduit par une diminution de la vitesse d'exploitation, mais que cette vitesse est encore plus réduite si la ligne ajoutée est souterraine au lieu d'être aérienne. Ainsi, dans les expériences citées plus haut, en ajoutant 50 milles ou 80 kilomètres de lignes aériennes à 181 milles ou 289 kilomètres de lignes souterraines, la vitesse était réduite de 38 à 25 mots par minute ; la même longueur en câble souterrain aurait fait tomber la vitesse de 35 à 15 mots.

Pour la recherche des DÉRANGEMENTS, v. ce mot.

LIGNE TÉLÉPHONIQUE. — Conducteur métallique isolé reliant des POSTES ou des STATIONS TÉLÉPHONIQUES. Les conditions d'établissement de ces lignes sont les mêmes que celles des LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES.

LOBE ÉLECTRIQUE. — Nom donné par Malleceux au lobe postérieur du cerveau d'où partent les troncs nerveux chez les POISSONS ÉLECTRIQUES. D'après ce savant cet organe déterminerait, lorsqu'on l'irrite, les décharges électriques ou secousses que l'on ressent lorsqu'on touche ces animaux.

LOCAL. — *Transmettre en local et recevoir en local.* Expression qui signifie que l'on relie le RÉCEPTEUR d'un POSTE TÉLÉGRAPHIQUE au MANIPULATEUR du même poste et que l'on transmet, et par conséquent on reçoit, sans l'intermédiaire de la LIGNE et des appareils extérieurs.

LOCALE (Pile). — (V. PILE LOCALE.)

LOCH ÉLECTRIQUE. — Nom sous lequel on désigne les lochs dans lesquels l'électricité sert à transmettre à bord du navire le nombre de tours accomplis par le moulinet anémométrique.

M. Bain a construit le premier loch de ce genre. On en a combiné depuis d'autres modèles mettant à contribution soit le moulinet de Woltmann, soit l'hélice.

La difficulté du problème est de produire des formes de courant sur le loch immergé sans compliquer par trop l'appareil. Le loch électrique de M. Fleurbaey comprend un moulinet rappelant par sa forme et son mode d'action l'anémomètre Robinson, et un appareil électrique enregistreur dans lequel les interruptions de circuit sont remplacées par des variations périodiques de sa résistance.

M. Le Goarant du Tromelin a imaginé aussi un loch électrique et a réclamé la priorité pour son enregistreur, qui ressemble beaucoup à celui de M. Fleurbaey.

La commission qui a examiné le loch électrique de M. du Tromelin décrit l'appareil en ces termes :

« Le loch se compose d'une hélice plongeant dans la mer et d'un récepteur de TÉLÉGRAPHIE À CADRAN disposé en compteur. L'hélice, disposée comme celle des lochs à hélice enregistreurs, ouvre et ferme le circuit au moyen d'une languette de cuivre liée à

l'arbre de l'hélice. Les deux fils formant le circuit complet sont contenus dans le câble remorqueur. » Nous citerons encore le loch de M. Kelway, lequel se compose d'une hélice qui descend sous le navire à une profondeur suffisante pour qu'elle ne soit pas influencée par l'entraînement de la coque. Cette hélice transmet son mouvement par un arbre à interrupteur fermé dans une boîte étanche où aboutissent les fils qui sont reliés à l'appareil enregistreur.

LOCOMOBILE A LUMIÈRE. — Appareil construit par MM. Sautter-Lemonnier et Co, pour servir, dans les opérations militaires, à projeter la LUMIÈRE ÉLECTRIQUE et produire des signaux de TÉLÉGRAPHIE OPTIQUE. Il se compose d'une locomobile portant sur son bâti une machine Grammc. (V. MACHINE ÉLECTRIQUE.)

LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE. — Jusqu'en 1837 il n'avait pas été construit de machines locomotives mues par l'électricité et d'une force suffisante pour remorquer sur une voie ferrée de largeur normale un train de voyageurs ou un train de marchandises, et on le comprend, puisque avant cette époque on n'avait pas encore réalisé de transport de force à distance assez important.

Mais les conditions d'une pareille application de l'électricité ont été définies clairement par M. Sartiaux, sous-chef d'exploitation du chemin de fer du Nord. Voici le programme rédigé par cet ingénieur : « Prendre la force sur un conducteur dont la longueur pourrait atteindre 40 kilomètres, les machines génératrices étant à l'une des extrémités du conducteur et les réceptrices, au nombre de 30 environ, étant en un point quelconque des conducteurs ;

« Donner à la locomotive un poids faible, de 15 à 20 tonnes, sous un volume dont le gabarit ne dépasse pas celui des plus grandes voitures à voyageurs ;

« Construire la locomotive de manière qu'elle puisse remorquer un poids brut de 100 tonnes environ à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure sur de fortes déclivités moyennes de 0^m,020 et dans des courbes très raides dont le rayon oscille entre 200, 150 et même 100 mètres ;

« Utiliser l'électricité donnée par la génératrice pour développer par le magnétisme une adhérence électro-magnétique qui compense le faible poids adhérent du moteur et permettre à ce moteur de gravir à une vitesse convenablement réduite, de 10 à 15 kilomètres à l'heure, les déclivités exceptionnelles de 0^m,50, 0^m,60 et même 0^m,70 avec la même charge à remorquer de 100 tonnes brutes ;

« Utiliser l'électricité donnée par la génératrice pour que la force du moteur transmise électriquement à chaque véhicule du train agisse par une action directe sur des freins puissants permettant de donner aux trains des arrêts pour ainsi dire instantanés et de modérer leur vitesse à la descente des pentes ;

« Obtenir un démarrage très rapide, presque instantané ;

« Accessoirement, utiliser l'électricité afin d'obtenir une quarantaine de becs, dont trois ou quatre puissants pour éclairer l'avant de la machine, l'arrière du train, et les autres, de la puissance d'une carcel environ, pour éclairer l'intérieur des voitures. »

MM. Marcel Deprez et Maurice Leblanc ont pris ce programme pour point de départ de l'étude théorique d'une locomotive électrique devant servir à la traction des trains du chemin de fer métropolitain projeté à Paris.

Voici une description succincte de leur projet : Les trains doivent être remorqués à une vitesse de

30 kilomètres à l'heure (démarrage et arrêts compris) ; la ligne comporterait des rampes de 0^m,020 et des courbes de 150 mètres de rayon.

La résistance R opposée au train est donnée par la formule suivante, dans laquelle V est la vitesse en kilomètres à l'heure, P est le poids total du train en tonnes de 1.000 kilogrammes.

$$R = 0,843 V + 2,34 - \frac{P}{203}$$

En y remplaçant V et P par leurs valeurs on obtient la résistance R à la traction par tonne. Cette formule montre que la quantité de travail absorbée par la traction d'un train pesant 60 tonnes et circulant à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure sur une voie en alignement est de 47 chevaux, tandis que pour maintenir cette même marche sur une partie de voie de 0^m,020 de pente et en courbe de 150 mètres de rayon il faut dépenser plus de 240 chevaux, soit cinq fois plus de force que dans le premier cas.

Etant donné cette énorme variation dans les efforts à développer, MM. Deprez et Leblanc trouvent qu'il est avantageux d'employer un moteur électrique pesant 13 tonnes, communiquant directement son mouvement aux roues par une bielle de sorte que la vitesse de rotation serait la même pour ce moteur et pour les roues de la locomotive. Mais comme le poids adhérent de cette locomotive ne serait pas suffisant, ils emploient pour augmenter l'adhérence une paire de ROUES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES FORNÉE en substituant aux essieux moteurs des ÉLECTRO-AIMANTS analogues à ceux employés dans les derniers modèles de FREINS ÉLECTRIQUES, système Achard.

M. Deprez affirme qu'à l'aide de deux électro-aimants cylindriques pesant une tonne chacun et absorbant un travail de 5 chevaux par seconde, on pourrait obtenir un effort adhérent de 30 tonnes.

L'électricité fournie par des machines dynamo-électriques fixes dont le POTENTIEL serait de 5.500 volts, serait envoyée à la machine réceptrice placée sur la locomotive par un fil de cuivre de 13,2 millimètres carrés de section, et on supposant que la plus grande distance à faire parcourir à l'électricité soit de 15 kilomètres, on pourrait compter sur un rendement de 50 %.

D'autre part, puisqu'il faudrait employer une locomotive pesant 13 tonnes pour remorquer un train pesant 60 tonnes, le rendement à la traction de cette locomotive serait de 60 : (60 + 13) = 0,82 ; et le rendement final atteindrait 0,50 × 0,82 ou 0,41. Autrement dit, si pour faire tourner la machine dynamo-électrique génératrice du courant on employait un moteur à vapeur consommant environ 1 kilogramme de charbon par cheval-heure, on arriverait à une consommation de charbon de 2,30 kilogrammes environ pour obtenir sur la locomotive électrique une force disponible d'un cheval-heure.

Si l'on compare le travail produit par une locomotive ainsi établie à celui que produit une locomotive à vapeur d'une force suffisante pour remorquer le même train de 60 tonnes, on arrive aux résultats suivants :

Une locomotive à vapeur de 20 tonnes sans foyer donne un rendement à la traction de 60 : (60 + 20) = 0,75 par cheval-heure et elle dépense environ 2,26 kilogrammes de charbon.

Cette consommation est un peu inférieure à celle trouvée plus haut pour la locomotive électrique. L'avantage que présenterait cette dernière au point de vue de l'économie à réaliser résiderait donc simplement dans la possibilité de récupérer le travail

perdu sur les pentes. En résumé, on prévoit la possibilité de faire la traction électrique dans des conditions de prix presque égales à celles de la traction par machine à eau chaude lorsque le transport de la force à grande distance sera entré dans la pratique.

En Amérique, les ateliers *Rhode Island Locomotive Works* ont construit la plus grande locomotive électrique existante (1887), l'écartement de la voie étant le même que pour les locomotives ordinaires. Cette machine a six roues de 4m,75 de diamètre. Deux moteurs électriques accouplés lui donnent une puissance de 500.000 watts (670 chevaux-vapeur). Les armatures des moteurs ont 0m,92 de diamètre et sont calées sur les essieux, commandant ceux-ci directement sans l'intermédiaire d'aucune transmission.

La locomotive est munie de deux feux électriques, à la tête du train, de sonneries électriques et de freins fonctionnant automatiquement par l'électricité. Le train auquel cette locomotive doit être appliquée sera éclairé par des lampes électriques à incandescence; chaque wagon sera muni de freins électriques. Le courant sera transmis par un conducteur central aérien ou fixé sous le train entre les rails.

Ce renseignement a été donné par le professeur H. Robinson, dans son discours d'inauguration comme président de la *Society of Engineers*, en 1887.

LOIS ÉLECTRIQUES (Énoncé des principales).

MAGNÉTISME.

Loi des actions magnétiques. — Deux pôles de même nom se repoussent; deux pôles de nom contraires s'attirent.

La force f exercée entre deux pôles magnétiques p et p' est proportionnelle au produit de leurs intensités à une constante k fonction du milieu et inversement proportionnelle au carré de leur distance a :

$$f = \frac{k p p'}{a^2}. \quad (\text{V. AIMANT.})$$

ELECTRO-STATIQUE.

Loi des attractions et des répulsions électriques. — Deux corps dont les charges sont de même signe se repoussent; deux corps dont les charges sont de signes contraires s'attirent.

Lois de Coulomb. — Les attractions et répulsions qu'exercent l'un sur l'autre deux corps électrisés sont inversement proportionnelles aux carrés des distances et directement proportionnelles aux produits des quantités d'électricité répandues sur ces corps.

f force attractive ou répulsive s'exerçant à l'unité de distance entre les deux corps ayant reçu des charges électriques égales à l'unité. A la distance d pour des charges e et e' l'action sera

$$f = \frac{ee'}{d^2}. \quad (\text{V. ÉLECTRICITÉ.})$$

Lois de la déperdition de l'électricité de Coulomb. — (V. ÉLECTRICITÉ.)

ELECTRO-DYNAMIQUE.

Lois des courants. — 1^o Loi d'Ohm. — L'intensité I d'un courant est proportionnelle à la force

électromotrice E de la source électrique et inversement proportionnelle à la résistance R du circuit.

$$I = \frac{E}{R}. \quad (\text{V. COURANT.})$$

2^o **Lois de Kirchhoff.** — (a) En tout point de concours de plusieurs conducteurs, si l'on affecte d'un signe les courants qui s'en approchent et du signe contraire ceux qui s'en éloignent, la somme algébrique des intensités des courants qui traversent ce point est nulle.

(b) Pour toute figure fermée d'un système de conducteurs, la somme des produits des intensités par les résistances est égale à la somme des forces électromotrices, en considérant comme positives celles qui produisent une augmentation de potentiel et comme négatives celles qui produisent une diminution.

3^o **Corollaires de Bosscha.** — (a) Lorsque, dans un système de circuits fermés, l'intensité du courant est nulle dans l'une des branches, les intensités dans les autres branches sont indépendantes de la résistance du conducteur dans lequel il n'y a pas de courant.

(b) Lorsque deux branches A et B d'un réseau de conducteurs sont telles qu'une force électromotrice placée dans la branche A n'envoie aucun courant dans la branche B, on peut faire varier A de zéro à l'infini sans troubler le régime dans la branche B.

Résistance d'un conducteur. — La résistance R d'un conducteur est proportionnelle à sa longueur l , inversement proportionnelle à sa section s et proportionnelle à la résistance spécifique ρ du corps dont il est composé

$$R = \frac{\rho l}{s}.$$

PILES VOLTAIQUES.

Loi des actions chimiques dans les piles. — La quantité d'action chimique (zinc dissous) dans une pile est théoriquement proportionnelle à la quantité d'électricité qu'elle produit et, par unité de temps, proportionnelle à l'intensité du courant.

ÉLECTROLYSE.

Loi de Faraday. — Si une quantité Q d'électricité (évaluée en coulombs) est transportée dans un conducteur dans un temps t , l'intensité du courant sera définie par le rapport $\frac{Q}{t}$, et on aura

$$Q = It.$$

Corollaire. — Comme l'électricité n'est pas détruite, l'énergie à laquelle elle sert de véhicule ne se manifeste que par des chutes de potentiel, l'intensité est la même dans tous les points d'un circuit. Il en résulte qu'un GALVANOMÈTRE et un VOLTMÈTRE mesurant respectivement I et Q donneront les mêmes indications, quel que soit l'endroit du circuit où on les insère, ainsi que l'a démontré expérimentalement Faraday.

ACTIONS CALORIFIQUES DES COURANTS.

Loi de Joule. — La quantité de chaleur q dégagée dans un conducteur est proportionnelle à la résistance r du conducteur, au carré de l'intensité I du courant et au temps t pendant lequel le courant passe.

$$q = \frac{rI^2t}{A}$$

(A étant l'équivalent mécanique de la chaleur).

En combinant cette loi avec celle de Ohm

$$I = \frac{E}{r}$$

on a

$$\varphi = \frac{RII}{A} = \frac{rI^2}{A}$$

En combinant cette loi avec celle de Faraday

$$Q = It,$$

on a

$$\varphi = \frac{QE}{A}$$

Le travail T équivaut au passage d'un courant dans un conducteur est proportionnel à la résistance r du conducteur, au carré de l'intensité I du courant et au temps t pendant lequel le courant passe

$$T = rI^2t = EIIt = \frac{E^2t}{r} = QE.$$

ACTION MUTUELLE DES COURANTS.

Lois d'Ampère. — Deux courants parallèles de même sens s'attirent, et deux courants parallèles de sens contraire se repoussent. I et I' étant les intensités des deux courants parallèles, l leur longueur, d la distance qui les sépare, F la force d'attraction ou de répulsion, on a

$$F = \frac{II'l}{d^2}$$

Deux portions du même courant se repoussent;

Deux courants angulaires s'attirent lorsqu'ils s'approchent ou s'éloignent tous deux de leur point de croisement; ils se repoussent si l'un d'eux s'approche et l'autre s'éloigne de ce point de croisement;

L'action d'un courant sinuëux est la même que celle d'un courant rectiligne qui suivrait la corde de l'arc qu'il parcourt.

ACTION DES COURANTS SUR LES AMANTS ET DES AMANTS SUR LES COURANTS.

Lorsqu'un courant traverse un fil placé parallèlement à une aiguille aimantée mobile, il la dévie d'un certain angle qui augmente avec l'intensité du courant.

Règle d'Ampère. — Si l'on suppose un observateur couché sur le fil que traverse le courant, de telle sorte que le courant entre par les pieds et qu'il regarde l'aimant, il verra toujours le pôle nord (austral ou marqué) dévier vers sa gauche. (V. ÉLECTRO-MAGNÉTISME.)

Règle de Maxwell. — Lorsqu'un aimant est en présence d'un circuit, chaque portion du circuit agit sur l'aimant dans une direction telle qu'il embrasse le plus grand nombre de lignes de force possible, autrement dit de façon que le flux de force embrassé par le circuit soit maximum. Il en résulte que si l'aimant est mobile il y aura mouvement, attraction, répulsion et même rotation pour satisfaire à la règle précédente.

Formule de Laplace (Action d'un élément de courant sur un pôle magnétique). — d longueur de l'élément, m intensité du pôle, d' distance du pôle à l'élément, I intensité du courant, α angle de l'élément avec la droite qui joint son centre au pôle.

La force exercée par l'élément de courant sur le pôle est normale au plan passant par le pôle et l'élément.

En supposant un observateur couché sur l'élément, le courant lui entrant par les pieds et regardant le

pôle, ce dernier sera poussé à gauche si c'est un pôle nord, et de gauche à droite si c'est un pôle sud.

La force exercée df est

$$df = K \frac{mId' \sin \alpha}{d^2}$$

K étant une constante dépendant du milieu.

INDUCTION.

Force électromotrice d'induction. — Elle a pour valeur

$$E = Hlv \sin \alpha$$

H intensité du champ magnétique; l longueur du circuit rectiligne; v vitesse de déplacement du circuit; α angle du conducteur avec la direction des lignes de force; φ angle que fait la direction du mouvement avec la direction de la force exercée par le champ magnétique sur le circuit.

Si le conducteur se meut dans la direction de la force $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$ et $E = Hlv \sin \alpha$.

Direction du courant induit. — L'observateur étant supposé couché dans le champ de manière que les lignes de force lui entrent par les pieds et qu'il regarde dans le sens du mouvement du conducteur, le courant produit par le déplacement ira de gauche à droite.

Induction dans un circuit fermé. — Toute variation du flux de force embrassé par un circuit fermé produit un courant d'induction dont la durée est égale à celle de la variation du flux.

Deux variations de flux de force égale et de signe contraire produisent des courants égaux et de signe contraire.

La quantité d'électricité produite est indépendante de la durée de la variation.

La nature du conducteur n'intervient que par la résistance qu'il introduit dans le circuit.

Tout déplacement ou toute déformation du circuit ne modifiant pas la valeur du flux qui le traverse ne développe pas de courant induit.

Loi de Lenz. — Le sens du courant induit dans un circuit par une variation de flux de force donné est tel, qu'il s'oppose à chaque instant à la variation. (V. au mot LENZ [loi de] un autre énoncé de la même loi.)

LONGUEUR RÉDUITE. — Longueur qu'il faudrait donner à un conducteur de diamètre déterminé et constitué par un métal choisi comme type pour qu'il offre au passage d'un courant la même résistance qu'une partie d'un circuit homogène ou non homogène.

Si on prend comme type de comparaison le fil de fer de 0^m,001 de diamètre, et si l'on considère, par exemple, une partie de circuit formée de 10 kilomètres de fil de fer de 0^m,003 de diamètre, de 2 kilomètres de fil de bronze silicieux de 0^m,002 de diamètre et d'une bobine de RELAIS de 150 ohms de résistance, la longueur réduite s'évaluera ainsi :

Pour les 10 kilomètres de fil de fer de 0 ^m ,003, résistance	150 ohms.
Pour les 2 kilomètres de fil de bronze silicieux	11 —
Pour la bobine	450 —
Total	321 ohms.

Ce qui représente une longueur de 32,1 kilomètres de fil de fer de 0^m,004, c'est ce nombre qui sera désigné sous le nom de *longueur réduite*.

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE. — Lumière produite par la transformation de l'énergie électrique en énergie calorique; cette transformation résulte de l'augmentation de résistance au point du circuit où la lumière doit être utilisée. Cette augmentation de résistance peut être produite par une solution de continuité à travers laquelle le courant persiste à passer par suite du transport des molécules des deux électrodes. C'est le cas de l'ARC VOLTAÏQUE, ou par l'intercalation dans le circuit d'un filament de substance peu conductrice, comme un filament de charbon, par exemple; c'est le cas des lampes à INCANDESCENCE.

La lumière électrique a reçu de nombreuses applications pour l'éclairage des rues, des places, des ports, des canaux, des phares, des salles de théâtre, des grandes gares, des trains de chemins de fer, des habitations particulières, des mines, etc., pour la télégraphie optique, pendant la nuit, entre les vaisseaux. De petites lampes à incandescence ont été construites pour l'examen des cavités de l'organisme humain (v. ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE, TÉLÉGRAPHIE OPTIQUE, ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, LARYNGOSCOPE, POLYSCOPE, etc.). La lumière électrique s'obtient à l'aide de MACHINES DYNAMO ou MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES, et plus rarement à l'aide des PILES; les lampes électriques se divisent en deux catégories: les lampes à arc voltaïque ou RÉGULATEURS, et les lampes à INCANDESCENCE (v. INCANDESCENCE); une autre lampe, la LAMPE-SOLEIL, est décrite au mot LAMPE. (V. au mot ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE le texte de l'ordonnance de police qui règle les conditions d'emploi de la lumière électrique dans les théâtres, cafés-concerts et autres spectacles publics.)

LUMIÈRE (Théorie électro-magnétique de la). — Théorie due à Clerk Maxwell et énoncée par lui en ces termes :

L'induction électro-magnétique se propage à travers l'espace par les déformations ou vibrations du même éther qui transmet les vibrations lumineuses; en d'autres termes, la lumière n'est qu'un ébranlement électro-magnétique.

On est d'accord pour appeler éther la chose inconnue qui remplit un espace où il n'y a pas de matière ordinaire et qui transmet la déformation d'une certaine espèce qui constitue l'induction électrique et la déformation d'une certaine espèce qui constitue la lumière.

Maxwell a été amené à admettre l'existence d'un seul et même éther à la fois lumineux et électro-magnétique :

1^o Parce que l'on peut démontrer mathématiquement que, dans le cas de la propagation de la lumière et dans le cas de la propagation de l'induction magnétique, les vibrations sont perpendiculaires à la direction de propagation. On sait que les ondes lumineuses sont perpendiculaires à la direction du rayon,

et Clerk Maxwell a montré que les directions des ébranlements magnétiques et électriques sont aussi toutes deux perpendiculaires à la ligne de force et aussi perpendiculaires entre elles.

2^o Parce que cette théorie fournit une raison mathématique de ce fait que tous les corps réellement bons conducteurs sont extrêmement opaques. Exemple: les métaux sont conducteurs et opaques. (La conduction de l'électricité par des liquides transparents se fait autrement que par les métaux et ne contredit pas cette théorie).

3^o Parce que la vitesse de l'induction électro-magnétique est sensiblement la même que celle de la lumière non seulement dans l'air et dans le vide, mais aussi dans tous les corps transparents. C'est là un argument très puissant en faveur de l'unité et non de la dualité des éthers. Or, la vitesse de la lumière dans le vide a été trouvée égale à $3,004 \times 10^{10}$ centimètres par seconde (expériences faites par M. Cornu en 1874); l'indice de réfraction de l'air est 1,000293; la vitesse de la lumière dans l'air est donc de

$$\frac{3,004 \times 10^{10}}{1,000294} = 3,0031 \times 10^{10}$$

tandis que d'après les recherches les plus récentes la vitesse de l'induction électro-magnétique dans l'air est égale à

$$2,9857 \times 10^{10}$$

On peut donc dire que dans l'air les vitesses de la lumière et de l'induction électro-magnétique sont sensiblement égales.

Maxwell, puis MM. Gordon, Gibson et Barclay, Boltzmann, Schiller et Silow, ont fait des expériences pour déterminer les vitesses de la lumière et de l'induction électro-magnétique dans les corps transparents solides et liquides. Ils ont trouvé que dans certains cas ces vitesses sont à très peu près égales, mais que dans d'autres cas il y a de très grandes différences. M. Gordon, au livre duquel nous avons emprunté les renseignements qui précèdent (*Traité expérimental d'Électricité et de Magnétisme*, t. II, page 607) conclut en disant :

« En somme, l'accord observé est assez complet pour nous donner bon espoir que, quelque jour, les discordances seront expliquées et éliminées; en attendant, l'accord complet des vitesses de la lumière et de l'induction électro-magnétique dans l'air et dans les gaz, et les nombreuses relations directes qui existent entre la lumière et l'électricité ne nous laissent guère douter qu'il n'y ait entre ces agents un lien étroit et que leurs effets ne soient que deux formes de cette énergie commune, de nature inconnue, qui se retrouve certainement sous tous les phénomènes physiques. »

MACHINE ÉLECTRIQUE. — Appareil réversible destiné soit à absorber du travail mécanique pour le transformer en énergie électrique, soit de l'énergie électrique pour produire et utiliser du travail mécanique. Dans le premier cas, on se sert du travail mécanique pour élever l'électricité à un certain potentiel. Dans le deuxième cas, le travail est produit en utilisant l'énergie que possède l'électricité à un certain potentiel, énergie qui devient disponible lorsqu'elle passe de ce potentiel à un potentiel inférieur.

On peut établir une certaine analogie entre les machines électriques et d'autres appareils tels que ceux qui servent à élever l'eau. En effet, les pompes à piston et les pompes à réaction ou pompes centrifuges sont réversibles, c'est-à-dire peuvent être employées à transformer en travail mécanique la chute d'une masse d'eau (on désigne alors ces appareils sous les noms de machines à colonne d'eau et turbines).

Les machines électriques peuvent être envisagées à un double point de vue, suivant qu'elles absorberont du travail pour communiquer de l'énergie à une certaine quantité d'électricité, ou, au contraire, qu'elles développeront du travail aux dépens de cette dernière énergie. Nous les considérons d'abord sous le premier point de vue, comme des machines destinées à faire passer de l'électricité d'un potentiel déterminé à un potentiel plus élevé, en absorbant du travail. On les désigne généralement dans ce cas sous le nom de machines électro-motrices, et dans le second, sous le nom d'électromoteurs.

De même qu'une pompe est un appareil destiné à élever l'eau à un certain niveau, de même une machine électrique est un appareil destiné à élever l'électricité à un certain potentiel.

Les pompes peuvent se diviser en deux catégories :

1° Les pompes dites *pompes à piston*, dans lesquelles une certaine capacité est d'abord remplie d'eau à un niveau inférieur, et où le mécanisme force ensuite cette masse à passer sur un niveau plus élevé ;

2° Les pompes dites *pompes centrifuges*, dans lesquelles on développe une force de grandeur déterminée en chaque point de la masse liquide renfermée dans une portion de canal mobile, le débit n'étant plus proportionnel à l'allure de la pompe comme dans le cas précédent, mais fonction à la fois de la grandeur des forces développées dans la pompe et des résistances de la pompe et de la conduite.

De même, les machines électriques peuvent être divisées en deux classes :

1° Les machines dites *électro-statiques*, dans lesquelles un conducteur de capacité déterminée reçoit successivement une quantité déterminée d'électricité à un potentiel inférieur, et la porte ensuite sur un conducteur à un potentiel élevé.

2° Les machines dites *d'induction*, dans lesquelles une force dite *électromotrice* est développée le long d'une portion de conducteur mobile. Dans ces dernières machines, le débit électrique n'est plus proportionnel à l'allure de la machine, mais proportionnel à la somme des forces électromotrices, et inversement proportionnel à la résistance totale du circuit qui comprend la machine.

Les machines d'induction sont désignées sous les noms de machines magnéto-électriques ou de machines dynamo-électriques, suivant que le CHAMP MAGNÉTIQUE servant à la production de l'induction est constitué par des AIMANTS ou par des ÉLECTRO-AIMANTS.

I. — MACHINES ÉLECTRO-STATIQUES.

Toutes les machines électro-statiques reposent sur le principe suivant :

Un corps isolé mobile est d'abord mis en relation avec un corps fixe, de telle manière qu'ils se chargent tous deux d'électricités contraires. Ceci fait, et les deux corps étant isolés l'un de l'autre de façon que les électricités de noms contraires ne puissent se recombiner, on éloigne le corps mobile.

Cette opération ne peut se faire sans une certaine dépense de travail, à cause des forces attractives développées entre les deux corps par la séparation des deux électricités, et ce travail se retrouve dans l'établissement d'une différence de potentiel entre les masses électriques réparties sur les deux corps.

Lorsque le corps mobile aura été porté à une certaine distance du corps fixe, on le mettra en relation, au moyen d'un ÉGALISEUR DE POTENTIEL, avec un conducteur isolé. La charge de ce dernier augmentera jusqu'à ce qu'il soit au potentiel que possède le corps mobile lorsqu'il arrive en présence de l'égaliseur de potentiel.

Dans toute machine de ce genre ont donc lieu successivement les opérations suivantes :

1° *Séparation des électricités de deux corps mis en relation ;*

2° *Éloignement des deux corps chargés d'électricités contraires afin d'établir entre eux une différence de potentiel ;*

3° *Égalisation des potentiels d'un conducteur isolé et du corps mobile.*

Or, on peut déterminer la séparation des électricités de deux corps au contact l'un de l'autre :

1° En les constituant avec deux substances différentes. La séparation des électricités s'opère alors d'elle-même, en vertu de la loi de Volta.

2° En faisant influencer les deux corps par un conducteur isolé chargé une fois pour toutes et situé dans leur voisinage, et en supprimant le contact de ces deux corps alors qu'ils sont encore soumis à cette influence.

On peut déterminer l'égalisation des potentiels de deux conducteurs :

1° En armant l'un d'eux de pointes. Celles-ci détermineront l'écoulement de l'électricité de l'un des corps sur l'autre tant qu'il existera entre eux une différence de potentiel appréciable.

2° En les mettant directement en relation par un conducteur, ou en mettant successivement en contact le conducteur supposé isolé avec l'un et l'autre corps (méthode du PLAN D'ÉPREUVE).

Les diverses machines électro-statiques peuvent donc être classées de la manière suivante :

On détermine la séparation des deux électricités	par le contact de deux substances hétérogènes.	Le transport de l'électricité est opéré par une série de corps conducteurs isolés. L'égalisation des potentiels est effectuée	par le jeu de pointes.	<i>Machine d'Armstrong.</i> Des gouttes d'eau entraînées par un courant de vapeur froissent contre un ajutage et viennent ensuite passer dans le voisinage de pointes qui arment un conducteur isolé.
			par contact direct.	<i>Appareil replenisher</i> de sir William Thompson.
		Le transport de l'électricité est opéré par une substance isolante. (En général on prend un plateau de verre ou d'ébonite que l'on fait froter contre un coussin garni d'orsemyr). L'égalisation des potentiels est effectuée	par le jeu de pointes.	<i>Courants gazeux</i> (Expérience de W. Thompson). <i>Machine de Otto de Guericke.</i> — de Ramsden. — de Nairne.
			par contact direct.	Disposition non réalisée. Elle nécessiterait, en effet, l'emploi de larges brosses métalliques d'un usage peu commode.
		Le transport de l'électricité est opéré par une substance isolante. L'égalisation des potentiels est effectuée	par le jeu de pointes.	<i>Machine de Tappier.</i> <i>Machine de Holtz ordinaire.</i> <i>Machine de Holtz à deux plateaux tournant en sens contraires.</i>
			par contact direct.	Disposition non réalisée.
par l'influence d'un corps préalablement électrisé. L'égalisation des potentiels est effectuée en-tre-tenu	aux dépens de celle fournie par la machine.	Le transport de l'électricité est opéré par une série de corps conducteurs isolés. L'égalisation des potentiels est effectuée	par le jeu de pointes.	Disposition non réalisée.
			par contact direct.	<i>Machine de Varley.</i> <i>Égaliseurs de William Thompson.</i> <i>Machines à écoulement d'eau de W. Thompson.</i>
		Le transport de l'électricité est effectuée par une substance isolante. L'égalisation des potentiels est opérée	par le jeu de pointes.	<i>Machine Carré.</i> <i>Machines de Woost et de Winchurst</i> (1).
par une petite machine spéciale.		Le transport de l'électricité est effectuée par un corps conducteur isolé. L'égalisation des potentiels est opérée	par contact direct.	Disposition non réalisée.
			par le jeu de pointes.	<i>Electrophore tournant.</i>
			par contact direct.	<i>Electrophore.</i>

Nous allons décrire maintenant celles de ces machines qui ont fait faire le plus de progrès à la science ou qui sont aujourd'hui les plus employées. Nous suivrons, autant que possible, l'ordre de leurs dates d'invention.

1° **Machines à frottement.** — La première machine électrique à frottement date de la seconde moitié du xvi^e siècle. Elle était fort simple : elle consistait en un tube de verre que l'on froissait avec une étoffe de laine. C'est avec ce tube que le médecin Gilbert fit toutes ses expériences sur l'attraction électrique.

Machines d'Otto de Guericke, de Hawksbee, de Boze, de Wolfius, de Hausen et de Winckler. — Après le tube de Gilbert apparut, vers le milieu du xvi^e siècle, la machine d'Otto de Guericke; c'était une sphère de soufre, traversée dans son centre par une tige en fer. Les deux extrémités de la tige étaient soutenues par des supports, et l'on faisait tourner rapidement la sphère autour de cet axe, en la froissant avec du drap. Au commencement du xviii^e siècle, un physi-

icien anglais, Hawksbee, remplaça le globe de soufre par un cylindre de verre, auquel il imprimait mécaniquement un mouvement de rotation, tandis qu'on le froissait avec une étoffe de laine, ou simplement avec la main bien sèche. Boze, de Wittenberg (1735), substitua au cylindre un globe de verre creux. Il y adapta un conducteur de fer-blanc qui servait à recueillir et emmagasiner le fluide électrique. Cette machine reçut quelques perfectionnements de Wolfius, puis de Hausen, professeurs à Leipzig. Elle servit à un grand nombre d'expériences curieuses.

Au moyen d'un archet métallique très élastique, Winckler, de Leipzig, imprimait au globe de verre une vitesse de rotation de 180 tours par minute; en tournant, ce globe froissait contre un coussin de crin. Mais l'abbé Nollet, dont les expériences eurent tant

(1) Bien que la machine de Winchurst ait dû être classée comme il est indiqué ci-dessus, il est utile de faire observer qu'il n'existe pas de machine spéciale pour entretenir l'induction; c'est l'action réciproque de la moitié de chaque des plateaux qui joue le rôle d'excitatrice. (V. la théorie de la machine donnée par M. Vigouroux au mot **ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.**)

de célébrité, préféra toujours le frottement de la main à celui de toute autre substance.

Machine de Ramsden. — Les machines électriques à globe de verre donnaient lieu quelquefois à un accident assez singulier : le globe de verre éclatait tout à coup, et ses morceaux projetés au loin blessèrent plus d'une fois quelques assistants. Le désir d'empêcher la production d'un pareil effet conduisit un opticien anglais, Ramsden, à substituer au globe ou au cylindre de verre un plateau circulaire de même substance, qui tournait à frottement entre quatre coussins de peau rembourrés de crin. C'est la

machine ordinaire, la plus répandue, au moins en France, depuis 1770.

D'après ce qu'on vient de voir, les machines électriques de ce genre comprennent trois éléments principaux : un corps frotté, un corps frottant et un conducteur isolé. Dans l'appareil qui nous occupe (fig. 1), le corps frotté consiste en un plateau circulaire P, en verre aussi peu hygrométrique que possible, traversé par un axe métallique horizontal, et mis en mouvement de rotation, entre deux montants de bois, au moyen d'une manivelle M. Le corps frottant est formé de quatre coussins F, F opposés deux à deux, situés dans l'intérieur des montants m, m', deux en haut, deux en

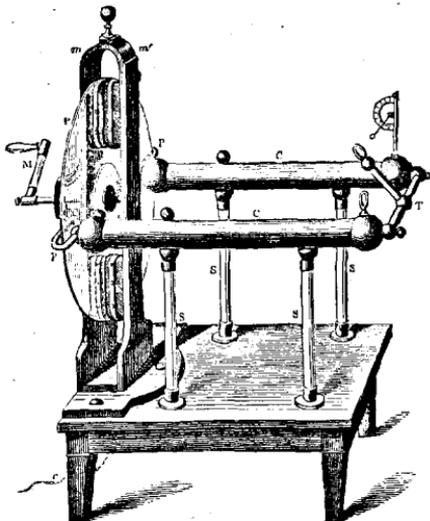


Fig. 1. — Machine de Ramsden.

bas. Ils sont enduits d'or musif (dentesulfure d'étain), et communiquent avec le sol au moyen d'une chaîne C passée dans les montants. Quant au conducteur isolé, il est formé de deux cylindres de laiton C, G, réunis entre eux par une traverse T, soutenus sur des pieds de verre S, S, S, S, et dirigés perpendiculairement au plateau. Ils sont terminés par deux pièces également en laiton, appelées *médailles*, garnies de points métalliques, et recourbées de manière à embrasser le bord du plateau de verre, qui dans son mouvement effleure presque les extrémités de ces points. Pour juger de la charge électrique fournie, un petit *électromètre* est fixé à l'extrémité de l'un des cylindres C.

Pour mettre la machine en activité, on sèche le plateau de verre et les supports des cylindres, on les chauffe avec un réchaud, ou on les frotte avec du papier sans colle, sec et bien chauffé. On sèche les coussins en les présentant au feu ; on les frotte l'un contre l'autre, après les avoir enduits d'or musif ou d'amalgame de zinc. On monte l'appareil, et il n'y a plus qu'à tourner la manivelle pour que les conducteurs se chargent d'électricité.

Par le fait du frottement, le plateau de verre se charge d'électricité positive et les coussins d'électricité négative. Si les coussins n'étaient pas en communication avec le sol, ils conserveraient leur électricité négative, et celle-ci neutraliserait l'action d'une égale quantité d'électricité positive du plateau. Or, il importe que l'électricité du plateau puisse être tout entière employée à agir sur les cylindres de laiton. C'est pour cela que les coussins sont maintenus en relation constante avec le sol. Le fluide positif du plateau agit donc, avec toute son énergie, sur l'électricité neutre des conducteurs cylindriques ; il en attire le fluide négatif, qui vient s'accumuler sur les dents des mâchoires, d'où il s'échappe sous forme d'arçettes, et arrive sur le plateau, il repousse le fluide positif, qui s'accumule surtout vers les extrémités les plus éloignées des cylindres.

Nous avons dit que le fluide négatif des cylindres est attiré par le fluide positif du plateau de verre, et qu'il vient se répandre sur ce plateau. Il résulte de là que le verre revient à l'état naturel, et que, par conséquent, un frottement nouveau reproduira le

même phénomène que nous venons d'analyser, et aura pour résultat d'augmenter la quantité d'électricité positive répandue dans les deux cylindres. Cette quantité ne peut pas néanmoins être accrue indéfiniment; elle est limitée par les pertes inévitables dues à l'intermédiaire de l'air et des supports, et aussi par l'action, à un moment donné, de l'électricité accumulée sur les conducteurs. En effet, il arrive un instant où le fluide positif des conducteurs fait équilibre à celui du plateau, qui, dès lors, cesse de pouvoir attirer le fluide négatif des cylindres. La machine possède alors sa charge maximum.

La machine de Ramsden donne, comme on voit, de l'électricité positive, qui est celle des conducteurs isolés. En lui adaptant une chaîne ou tige métallique, on peut transporter le fluide électrique et le faire agir où l'on veut. On peut obtenir aussi facilement l'électricité négative des coussins; il suffit, pour cela, d'isoler la chaîne, ou de la mettre en communication, non avec le sol, mais avec un réservoir métallique, un cylindre isolé, par exemple, sur la surface duquel s'accumulera l'électricité négative.

Une machine de Ramsden bien construite peut donc donner, soit séparément, soit simultanément, les deux espèces d'électricité. Toutefois, dans les cours, on fait fonctionner d'autres machines, qui atteignent plus spécialement le même but. De ce nombre sont la machine de Van Marum et celle de Nairne.

Machine de Van Marum. — La machine de Van Marum (fig. 2), inventée vers 1788, donne à volonté l'une ou l'autre électricité. Elle est composée d'un plateau de verre qui, en tournant, frotte contre deux paires de coussins opposés. Le plateau de verre se charge d'élec-

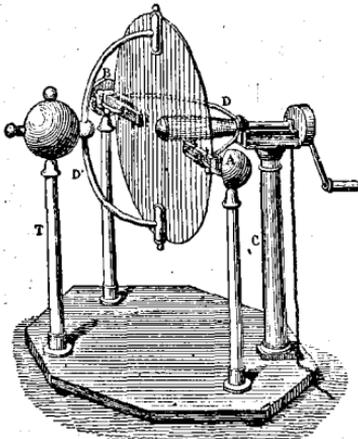


Fig. 2. — Machine de Van Marum.

tricité positive. Les deux coussins, fixés à deux boules métalliques isolées A et B, se chargent d'électricité négative. De chaque côté du plateau se

trouve un arc métallique D, D' qui, mobile autour d'un axe, peut être placé horizontalement ou verticalement; ces arcs sont soutenus par les supports C et T, dont le second T est seul isolé. Le support C est bon conducteur. Quand les arcs sont placés verticalement, ils sont, par leurs extrémités, sous l'influence du plateau; quand ils sont placés horizontalement, ils sont soumis à l'influence des coussins. Cela posé, l'appareil fonctionne de deux manières: 1° l'arc D étant horizontal et l'arc D' vertical, si l'on fait tourner le plateau, l'électricité positive se perd par le support C, et l'arc D se charge négativement; 2° si l'on place horizontalement l'arc D', et verticalement l'arc D, on voit que c'est l'électricité négative qui se perd, et la positive qui est conservée.

Machine de Nairne. — La machine de Nairne (fig. 3) se compose d'un cylindre de verre tournant entre deux conducteurs de laiton isolés, pareils à ceux de la

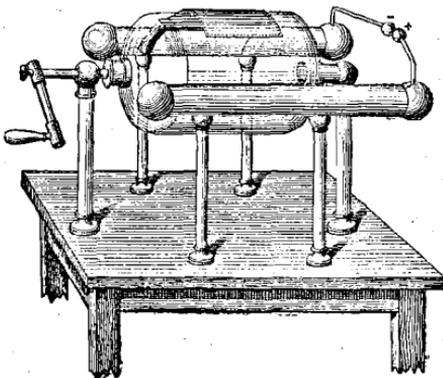


Fig. 3. — Machine de Nairne.

machine Ramsden. L'un de ces conducteurs est muni d'un coussin, l'autre d'un peigne garni de pointes métalliques; le cylindre de verre frotte d'un côté le coussin, et de l'autre effleure presque les pointes. Il y a donc un conducteur qui se charge d'électricité négative, et l'autre d'électricité positive. On peut ne conserver qu'une seule électricité, en envoyant l'autre dans le sol, par l'intermédiaire d'une chaîne.

Machine d'Armstrong. — L'ingénieur anglais Armstrong fut conduit vers 1840 à imaginer un appareil électrique fort différent, en apparence, de ceux qui avaient été jusqu'alors connus. « Un mécanicien de Newcastle, occupé à réparer des fuites survenues à la chaudière d'une machine à vapeur, tenait une de ses mains dans le jet de vapeur, et touchait avec l'autre le levier de la soupape de sûreté, lorsqu'il éprouva des secousses électriques. Il se trouvait à ce moment sur un massif peu conducteur de briques chaudes, qui le tenait isolé et établissait la communication entre la chaudière, qui était négative, et la vapeur, qui prenait en s'échappant une électricité opposée. Désireux de se rendre compte du phénomène, Armstrong adapta à une chaudière isolée un large tube de verre qui se terminait par un robinet. Tant que la vapeur n'avait point d'issue, aucune trace d'électricité n'apparaissait; mais quand on la laissait échapper, elle prenait l'électricité positive, et

le robinet se chargeait d'électricité négative; la chaudière restait à l'état naturel. Armstrong en conclut que la séparation des deux fluides se fait, non dans l'intérieur de l'appareil pendant l'ébullition, mais au point où la vapeur sort, par le frottement contre les parois du robinet. C'est au moment où elle sort par l'orifice d'échappement que la vapeur s'électrise; mais le phénomène présente une exception singulière. Faraday, ayant surchauffé la vapeur sèche, vit disparaître toute électrisation. En la faisant passer, au contraire, dans une bottle contenant de l'éponge mouillée, elle se chargeait de gouttelettes liquides, et alors l'électricité était très abondante. On est donc porté à croire que ce sont les gouttes d'eau, et non pas la vapeur, qui s'électrisent en frottant contre les parois du bec. De nombreuses expériences prouvent que la production de l'électricité dépend de la nature et de la quantité des substances entraînées par la vapeur; elle dépend aussi de la matière dont les becs sont faits. Faraday trouva que l'ivoire ne produit rien, que les métaux sont très actifs, et que le bois est le plus énergique de toutes les substances. Enfin, en augmentant le frottement, on augmente la production de l'électricité. Pour y parvenir, on emploie d'abord de la vapeur à haute pression; ensuite on multiplie les becs d'échappement, et l'on dispose dans le trajet de la vapeur une lame verticale de bois qu'elle est obligée de contourner pour s'échapper.

Cette machine produit des effets étonnants. Pouillet en a fait établir une à la Faculté des sciences; elle porte quatre-vingts becs, dont les énormes étincelles se succèdent si rapidement qu'elles forment un jet continu et ébouillant de plusieurs centimètres de largeur et de plusieurs décimètres de longueur.

Dans les machines précédentes, la production de l'électricité peut être expliquée comme il suit :

1° Au contact de deux substances différentes, telles que le plateau de verre et les frotteurs de la machine de Ransden, les globules d'eau et les ajutages de la machine d'Armstrong, il s'opère naturellement une séparation des deux électricités, en vertu de la loi de Volta.

2° Si l'un des corps qui se sont ainsi chargés d'électricité est éloigné de l'autre, mais de telle façon que l'électricité développée à sa surface ne puisse s'échapper, on devra dépenser une certaine quantité de travail pour vaincre les forces attractives dues à la séparation des deux électricités. Cette dépense de travail se retrouvera dans l'élevation du potentiel de l'électricité transportée.

2° Machines d'influence. — On a conçu

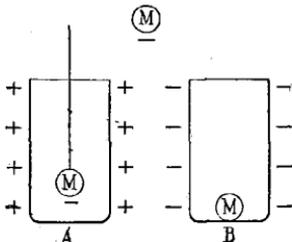


Fig. 4.

Fig. 5.

dans ces dernières années un grand nombre d'autres machines dans lesquelles la séparation des deux élec-

tricités n'est plus due au contact de deux substances hétérogènes, mais s'opère par influence.

Ces machines reposent en général sur les principes suivants :

1° Si à l'intérieur d'un corps électrisé A, on introduit un corps conducteur M en relation avec le sol, celui-ci se charge d'électricité de signe contraire (fig. 4).

2° Si on enlève le corps conducteur après l'avoir isolé, on élève le potentiel de l'électricité qu'il a acquise par influence.

3° Si on vient ensuite à le porter à l'intérieur d'un autre conducteur creux B (fig. 5) et qu'on le mette en relation avec lui, toute son électricité se porte à la surface de B. Il est alors revenu à l'état neutre. On peut donc le reprendre, et recommencer la même opération.

Machine de sir W. Thompson. — Sir William Thompson a imaginé une machine à écoulement d'eau, dont la description fera encore mieux comprendre les principes généraux des machines à influence.

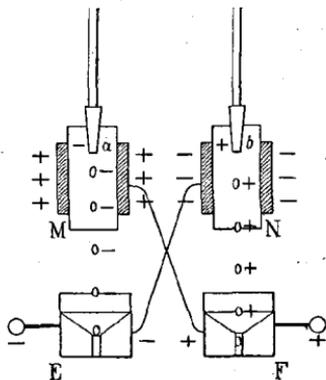


Fig. 6.

Deux ajutages métalliques a et b en relation avec le sol sont situés à l'intérieur de deux cylindres de verre M et N recouverts de papier d'étain sur leurs faces extérieures (fig. 6).

Supposons le cylindre M chargé positivement et l'autre négativement; les gouttes d'eau qui tomberont successivement se chargeront d'électricité négative en quittant l'ajutage a, et d'électricité positive en quittant l'ajutage b.

En sortant des tubes M et N, elles viennent traverser deux entonnoirs E et F enroulés chacun d'une enveloppe cylindrique. Elles leur abandonnent les quantités d'électricité dont elles sont chargées, celles-ci venant se distribuer à la surface des cylindres qui enveloppent les entonnoirs.

En ayant soin de relier les inducteurs aux entonnoirs, comme le montre la figure, les charges des inducteurs augmenteront de plus en plus, jusqu'au moment où des étincelles jailliront entre les diverses parties de l'appareil.

Dans cette machine, c'est le travail de la pesanteur qui se trouve transformé en énergie électrique. La transformation est tellement parfaite qu'au bout de quelque temps de fonctionnement les gouttelettes ne tombent plus.

Machine de M. Varley. — Voici maintenant une autre machine très simple, due à M. Varley :

Une série de conducteurs c, c, c sont fixés sur une roue d'ébonite b mobile autour d'un axe a et tournant devant deux plateaux métalliques isolés e, e' ap-

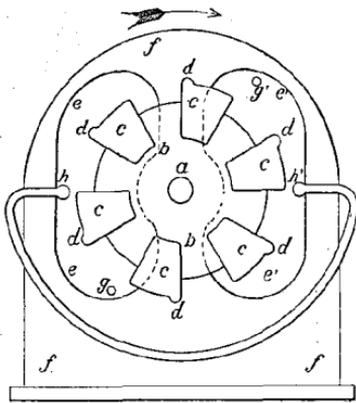


Fig. 7. — Machine de Varley.

pelés inducteurs (fig. 7). Ces conducteurs c, c, c reçoivent successivement des contacts métalliques g et g' qui les mettent en relation avec les inducteurs e et e' , et des contacts métalliques h et h' qui sont reliés à la terre.

Supposons le plateau e' électrisé positivement, et la

roue en ébonite tournant dans le sens de la flèche; chaque conducteur c en passant devant le contact h' s'électrise négativement par influence; puis, en rencontrant le contact g il abandonne son électricité négative, qui se porte sur la surface extérieure du plateau e ; il s'électrise positivement au contact h et abandonne son électricité positive au plateau e' lorsqu'il rencontre le contact g' .

Machine de Tœpler. — Cette machine se compose essentiellement d'un disque de verre horizontal animé d'un mouvement de rotation rapide autour d'un axe vertical (fig. 8). Sur la face inférieure du disque sont placées deux ARMURES d'étain ayant la forme de grands segments et la face supérieure porte deux bandes d'étain demi-circulaires B, B' communiquant séparément avec les segments correspondants de la face opposée. Les deux conducteurs isolés C, C' sont munis à leurs extrémités de ressorts très flexibles qui pendant le mouvement de rotation appuient alternativement sur les bandes demi-circulaires B, B'. Enfin au-dessous du disque mobile est un plateau conducteur isolé A, ayant mêmes dimensions que les segments. Ce plateau étant mis en communication avec une source d'électricité à potentiel constant, le conducteur BC s'électrise par influence; l'extrémité la plus éloignée du conducteur C se charge d'électricité positive et le secteur B d'électricité négative. Quand le ressort du conducteur C a quitté le secteur B, ce dernier porte son électricité négative sur le conducteur C' par l'intermédiaire du ressort placé à l'extrémité de ce conducteur. En même temps, l'autre secteur B' vient prendre la place du premier et s'électrise à son tour sous l'influence de l'inducteur A. Les mêmes effets se produisent d'une façon continue; on voit que, abstraction faite des déperditions, la charge des conducteurs C et C' augmente comme les termes d'une progression géométrique; mais il arrive un moment où la différence de poten-

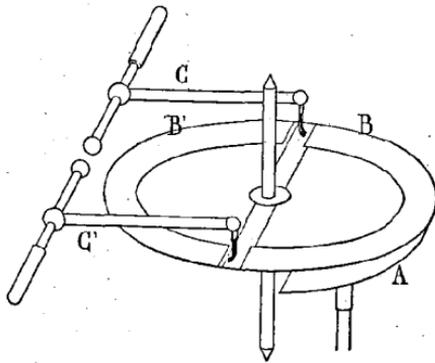


Fig. 8. — Machine de Tœpler.

tiel de ces conducteurs atteint son maximum et il se produit alors des décharges entre les différentes parties de l'appareil. On obvie à cet inconvénient en reliant les conducteurs C et C' aux deux branches d'un excitateur formé de deux vis que l'on peut rapprocher à volonté, et en prenant pour l'inducteur A une lame de verre vernie sur sa face supérieure et munie d'une feuille d'étain sur sa face inférieure.

Afin de maintenir constant le potentiel de l'in-

ducteur, M. Tœpler a associé deux appareils semblables se maintenant l'un et l'autre en activité par leurs réactions réciproques. Enfin il fit construire sur les mêmes principes un appareil comprenant un grand nombre de disques montés sur un même axe horizontal. Cette machine est ingénieuse, mais fragile et compliquée, aussi a-t-elle été abandonnée en présence des effets merveilleux que donne la machine de Holtz.

Machine de Holtz. — Cette machine fonctionne par induction; elle se compose de deux ou plusieurs plateaux de verre circulaires disposés parallèlement l'un à côté de l'autre. L'un d'eux peut être animé

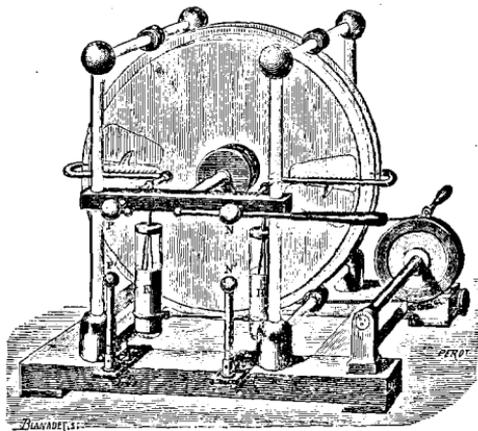


Fig. 9. — Grand machine de Holtz à quatre plateaux de 1 mètre de diamètre, donnant des étincelles de 35 centimètres de longueur. (Ducrest.)

d'un mouvement de rotation rapide; les autres sont fixes et percés d'un trou circulaire au centre, pour laisser passer l'axe du plateau mobile (fig. 9), et de deux autres ouvertures, appelées *fenêtres*, situées

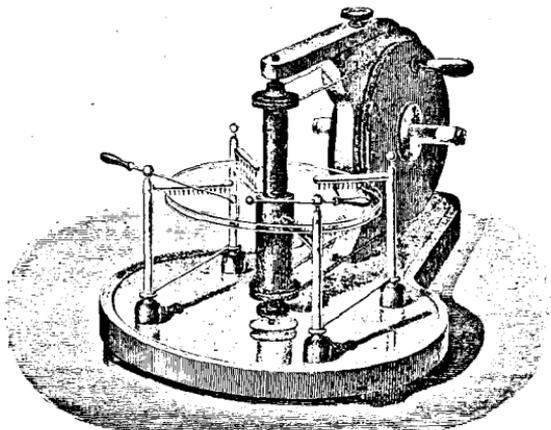


Fig. 10. — Machine de Holtz horizontale à deux rotations, construite par M. Carpentier.

aux extrémités opposées d'un même diamètre, ordinairement horizontal. Sur le bord de chacune de ces fenêtres est collé un morceau de papier muni d'une ou deux languettes terminées en pointe un peu émoussée qui font saillie dans les fenêtres, de façon à toucher légèrement le plateau tournant. Enfin de

l'autre côté de ce plateau, très près de sa surface, et en regard des fenêtres, sont placés deux peignes métalliques reliés respectivement à deux lîges de décharge P et N. C'est entre ces lîges qu'éclate l'ÉLECTRICITÉ.

Pour se servir de la machine on commence par charger une des armures de papier soit à l'aide d'un bâton de cire à cacheter préalablement frottée, soit à l'aide d'une petite machine de frottement. On met ensuite les lîges de décharge en contact et on fait tourner le plateau de verre de façon qu'il marche vers les languettes en saillie. On sépare alors les lîges de décharge, et l'étincelle jaillit tant que l'on fait tourner le plateau; on recueille de l'électricité positive à l'un des pôles et de l'électricité négative à l'autre.

On a construit aussi des machines de Holtz de forme cylindrique composées d'un cylindre circulaire fixe à l'intérieur duquel tourne le cylindre mobile; mais cette forme particulière ne présente pas d'avantages sur celle à plateaux.

La fig. 10 représente une machine de Holtz à plateaux horizontaux dans laquelle les plateaux sont mobiles tous deux et tournent en sens contraires, ce qui, pour une même vitesse de l'axe, double la vitesse de rotation du système.

Théorie de l'action de la machine de Holtz. — M. Gordon dans son *Traité d'Électricité*, annoté par M. Raynaud, donne la théorie suivante de l'action de la machine de Holtz, d'après M. Mascart.

Soit une machine à forme cylindrique. (La fig. 11 représente le cylindre mobile intérieur et les ARMURES de papier A et B qui soutient le cylindre fixe extérieur, lequel n'est pas indiqué sur la figure.)

Soit A' et B' les deux peignes, placés à l'intérieur du cylindre mobile, en regard des fenêtres, et P et N les deux boules qui terminent les lîges de décharge qui supportent les peignes.

« Si l'armure A étant chargée d'électricité négative, par exemple, on fait tourner le cylindre intérieur dans le sens des flèches, les boules P et N étant en contact,

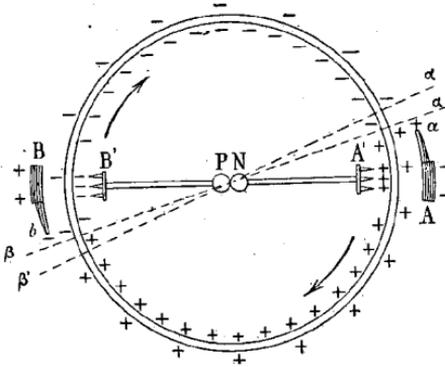


Fig. 11. — Figure schématique d'une Machine de Holtz de forme cylindrique.

le conducteur A' B' s'électrise par induction. Quand la charge de l'armure A est suffisamment élevée, le peigne A' laisse échapper sur le verre de l'électricité positive et le peigne B' de l'électricité négative, parce que les charges induites sont attirées à travers le verre par les charges des armures.

« Le même phénomène se reproduira au moins pendant la première demi-révolution du cylindre, puis les portions de verre qui ont reçu l'électricité s'éloignent rapidement et permettent à l'influence de l'armure A de s'exercer de nouveau sur le conducteur A' B'.

« A ce moment la surface intérieure du cylindre peut être divisée par un plan à peu près horizontal, en deux parties électrisées en sens contraires, la supérieure négativement, et l'inférieure positivement. Ces couches électriques contribuent à exagérer encore la production d'électricité, par une série de réactions réciproques.

« En effet, l'armure B β , sous l'influence de ces deux couches, se charge à sa base B d'électricité positive, et à sa pointe β d'électricité négative, qui se décharge sur la face extérieure du cylindre; la même influence s'exerce sur la deuxième armure, dont la charge négative augmente à la base A, et qui laisse échapper par sa pointe α de l'électricité positive.

« Pendant la demi-rotation suivante, la différence de potentiel, aux extrémités du conducteur, sera augmentée par suite de l'ÉLECTRISATION de la deuxième armure, de l'accroissement de charge de la première, et par l'influence directe qu'exerce sur les pointes la charge électrique répandue à la surface du cylindre tournant.

« Si l'on fait abstraction des pertes, l'électrisation doit croître en progression géométrique; mais bientôt l'appareil atteint son débit maximum, et l'électrisation de ses différentes portions devient constante.

« Les deux faces du cylindre sont toujours électrisées positivement à la partie inférieure et négativement à la partie supérieure; mais le plan de séparation des couches de signes contraires n'est pas horizontal.

« Le flux positif qui s'échappa du peigne A' remonte vers la couche négative par suite de l'attraction qu'exerce cette couche et de la répulsion qui provient de la couche inférieure. On le reconnaît à la forme de la nappe lumineuse.

« Si l'on néglige les différences de propriétés des deux électrisés, on voit que les deux couches de signes contraires, répandues sur la surface intérieure du cylindre, seront séparées par un plan $\alpha\beta$, dissy-

métrique par rapport aux peignes. L'électricité qui s'échappe des pointes de papier se distribuera de même à la surface extérieure du cylindre, suivant deux zones séparées par un autre plan $g'g'$.

Il arrive quelquefois pendant le fonctionnement des machines de Holtz, principalement de celles à un seul plateau mobile, que le sens des décharges entre les pièces polaires vient à changer brusquement. Ce phénomène, encore mal expliqué, ne se produit pas dans les machines à conducteur diamétral telles que celles de Tœpler, Voos, égaliseurs de potentiel, etc.

Machine de Carré. — Dans les machines précédentes, la charge du corps influent doit être entretenue aux dépens de l'électricité fournie par la machine elle-même. Tout défaut de fonctionnement de celle-ci réagira donc sur la cause première du développement de l'électricité, et l'on comprend aisément que ces machines soient assez capricieuses.

Il y avait donc un perfectionnement notable à leur apporter et qui devait consister à disposer une petite machine spéciale qui eut pour seule fonction de recharger le corps influent. Celui-ci ayant généralement des dimensions peu considérables et pouvant être soigneusement isolé, les causes de déperdition qui troublent tant le jeu de ces machines devaient se trouver notablement diminuées, et le fonctionnement général du système beaucoup amélioré.

C'est M. Carré qui a réalisé le premier cette amélioration en employant comme corps influent un plateau de verre qu'il électrisait d'une manière continue en le faisant frotter contre deux coussins enduits

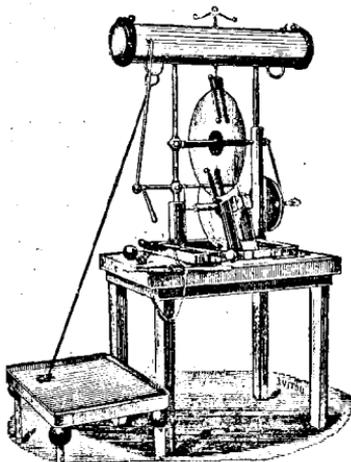


Fig. 18. — Machine Carré.

d'or musif. Il remplaça en même temps le plateau de verre de la machine de Holtz par un plateau en

ébonite, plus facile à obtenir, mais qui est malheureusement attaqué par l'air et qui devient hygrométrique (fig. 12.)

La machine Carré, un instant tombée en désuétude, est très employée aujourd'hui, surtout par les médecins. On en trouvera la description détaillée au mot ÉLECTRICITÉ MÉDICALE. C'est de toutes les machines électro-statiques celle dont le fonctionnement est le plus régulier. Elle donne en même temps un débit très considérable.

Machine de Woos. — Cette machine, introduite en

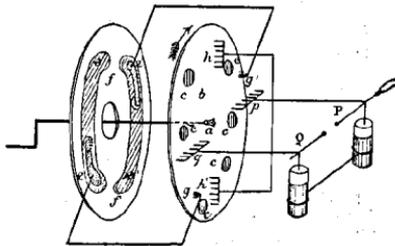


Fig. 13.

Figure schématique de la Machine de Woos. (Gariel.)

France au moment de l'Exposition d'électricité de 1881, donne d'excellents résultats.

Le corps influent se compose, comme dans la machine de Holtz, de deux secteurs de papier e et e' (fig. 13); mais le plateau f qui les supporte n'a plus de fenêtres, et leur charge est maintenue par une petite machine électro-statique analogue à celle de M. Varley, décrite plus haut. Sur le plateau mobile a sont disposés, à intervalles réguliers, des disques d'étain c, c, c munis chacun d'un téton métallique. Ces disques correspondent aux conducteurs fixés sur la roue d'ébonite de la machine de M. Varley. Ils s'électrisent par influence en passant devant les inducteurs de papier e et e' . Un conducteur h terminé par deux peignes et deux balais établit à ce moment la communication entre les disques d'étain c , qui, en continuant leur rotation, chargent les inducteurs e, e' par l'intermédiaire des balais g, g' .

Cette petite machine, complètement distincte de la machine électrique proprement dite, bien qu'il n'y ait qu'un seul plateau mobile, n'a d'autre but que de maintenir constante la charge des inducteurs.

Comme dans la machine de Holtz, c'est non pas l'électricité des inducteurs, mais bien l'électricité induite dans les disques d'étain c , que l'on recueille au moyen des peignes p, q en communication avec des CONDENSATEURS P. Q.

La machine de Woos constitue un perfectionnement important sur celle de Holtz, car elle est toujours prête à fonctionner, et est bien moins sensible que celle-ci à l'état hygrométrique de l'air.

Machine de Wimshurst. — La machine de Wimshurst, construite par la maison Bréguet, du même genre que la machine de Woos, a été décrite en détail au mot ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.

Electrophore. — Enfin, pour compléter ces renseignements sur les machines d'influence il convient de citer l'ELECTROPHORE.

Propriétés générales des machines électro-statiques. — D'après ce que nous avons dit du principe sur lequel reposent les machines électro-statiques, on conçoit que si toutes leurs parties étaient rigoureusement isolées :

1° Dans les machines à frottement où la quantité d'électricité développée à chaque instant ne dépend que de la nature des surfaces frottantes, le débit serait proportionnel à la vitesse de rotation du plateau et le potentiel développé à un moment quelconque sur le récepteur de la machine serait proportionnel au nombre de tours effectués jusque-là.

2° Dans les machines d'influence, la production d'électricité étant à chaque instant proportionnelle au potentiel obtenu, et celui-ci étant lui-même proportionnel à la charge déjà atteinte, le débit d'une machine et les différences de potentiel qu'elle permettrait d'atteindre croîtraient en progression géométrique lorsque les temps croîtraient en progression arithmétique, et la raison de cette progression serait elle-même proportionnelle à la vitesse de rotation.

Mais en réalité, les pertes d'électricité, par suite du défaut d'isolation des supports, compensent bien vite l'accroissement du débit de la machine, et en définitive celui-ci prend une valeur déterminée sous un certain potentiel constant pour chaque vitesse de rotation, en supposant l'état hygrométrique de l'air constant.

Une machine électro-statique tournant à sa vitesse normale peut donc être considérée comme une source d'électricité à débit et potentiel constants. En effet, pour que ce débit pût être influencé par une résistance extérieure interposée entre les deux bornes de la machine, il faudrait que, en désignant par R cette résistance, par d le débit de la machine à la seconde, et E la différence de potentiel établie entre ses bornes, l'on ait

$$d < \frac{E}{R}$$

Dans ce cas, la conduite ne pourrait plus suffire au débit de la machine. Mais, comme E est toujours très grand et d très petit, il faudrait que R fût énorme. Il est matériellement impossible de réaliser de pareilles résistances avec des conducteurs métalliques : M. Rosetti y est parvenu en employant des conducteurs formés par des fils de soie.

Accouplement des machines électro-statiques. — On peut accoupler entre elles en QUANTITÉ ou en TENSION, de la même façon que des piles, les machines électro-statiques. Ainsi M. Mascart a obtenu des étincelles de 0^m,32 avec deux machines de Holtz accouplées en tension, alors que chacune d'elles ne pouvait donner que des étincelles de 0^m,20.

Si on accouple ces machines en quantité, le potentiel n'augmente pas, mais le débit est alors proportionnel au nombre de machines accouplées.

Réversibilité. — Toute machine électro-statique est réversible, c'est-à-dire qu'elle doit se mettre à tourner si on met ses bornes en relation avec une source à potentiel suffisamment élevé. Cette expérience, impossible à réaliser avec les machines à frottement, à cause de la grandeur des résistances passives, réussit au contraire parfaitement avec les machines d'influence. Ainsi, si l'on réunit par deux conducteurs les bornes de deux machines de Holtz et qu'on fasse tourner l'une d'elles, l'autre se mettra en marche d'elle-même.

C'est à un mode de transport de l'énergie comparable à celui que l'on réalise avec les machines électro-dynamiques. Il présente un certain intérêt au point de vue théorique, car les machines électro-statiques n'ont aucune résistance intérieure au sens propre du mot, et la grandeur des potentiels obtenus rend insensible la résistance de la conduite intermédiaire.

Grandeur des effets obtenus. — M. Mascart a reconnu par expérience que si l'on faisait tourner une machine double de Holtz telles que celles construites par M. Carpentier, à la vitesse de 15 tours à la seconde, elle transformerait en énergie électrique une quantité de travail sensiblement égale à 1 kilogrammètre.

La force électromotrice développée pouvant être évaluée à 80.000 VOLTS, on voit que l'intensité que peut fournir une telle machine n'est que de

$$\frac{1}{8000} \text{ d'AMPÈRE.}$$

D'un autre côté M. Mascart a comparé entre elles diverses machines, et est arrivé à dresser le tableau suivant :

MACHINES.	DIAMÈTRE.	LONGUEUR du peigno.	DÉBIT par tour.	SURFACE utilisée.	DÉBIT par unité de surface.
	Mètres.	Mètres.	Kilogrammè.	Mètres carrés.	Kilogrammè.
Ramsden à mâchoires	0,98	0,20	1	2,36	0,42
Ramsden plus grande	1,62	0,27	1,70	4,34	0,39
Ramsden à cylindres collecteurs	0,98	0,20	1	2,36	0,42
Van Marum	0,85	0,15	1,40	1,74	0,80
Holtz ordinaire	0,22	0,30	0,18	0,30	0,60
Holtz à deux plateaux	0,55	0,14	0,45	0,36	1,25
Holtz à rotations inverses	0,55	0,14	0,86	0,72	1,20
Carré à plateau d'ébonite	0,30	0,09	0,23	0,24	0,97
	0,50	0,13	0,21	0,29	0,72

Enfin, le même auteur a encore dressé le tableau suivant, où il compare non plus le débit par tour, mais

le débit à la seconde fourni par divers électromoteurs, supposés fonctionner dans leurs conditions normales.

MACHINES.	NOMBRE DE TOURS par seconde.	DÉBIT ÉLECTRIQUE par seconde.	DÉBIT PAR UNITÉ de surface utile.
Ramsden à mâchoires	1	1	0,42
Ramsden plus grande.	0,67	1,14	0,26
Ramsden à cylindres collecteurs.	1	1	0,42
Van Marum.	1	1,4	0,80
Nairne.	2	0,36	1,20
Holtz ordinaire.	10	4,5	12,80
Holtz à deux plateaux.	10	8,6	12,30
Holtz à rotations inverses.	10	2,3	9,70
Carré.	10	2,1	7,20
Armstrong.	"	2,4	"
Grande bobine d'induction	"	13	"

Usage des machines électro-statiques. — En dehors des laboratoires, où on les emploie pour produire des potentiels très élevés, et des cabinets de médecins, où elles rendent de grands services, les machines électro-statiques ne sont d'aucun usage.

On peut cependant les construire d'une manière très robuste, en procédant, par exemple, comme M. Varley, tout en leur conservant leur caractère de grande simplicité. D'un autre côté on pourrait considérablement augmenter la quantité de travail qu'elles sont susceptibles de transformer en énergie électrique en un temps donné.

Remarquons en effet que l'effort nécessaire pour éloigner l'un de l'autre deux corps électrisés décroît très rapidement avec leur distance, si bien que la différence de potentiel qui s'établit entre eux ne varie plus que très peu dès que cette distance est devenue sensible.

Si au lieu d'espacer les deux inducteurs d'une machine de Holtz de 180°, on ne les sépareit que d'un angle beaucoup plus petit, la différence de potentiel obtenue (en supposant qu'on puisse s'opposer à la production d'ÉTINCELLES entre les diverses parties de la machine) serait à peine diminuée, tandis qu'on pourrait multiplier les inducteurs portés par un même plateau et augmenter proportionnellement le débit de la machine.

Mais, malheureusement, pour que la quantité d'électricité que peut renfermer un corps de dimensions ordinaires soit appréciable, il faut le porter à un potentiel très élevé, et les pertes deviennent très difficiles à éviter.

II. — MACHINES D'INDUCTION.

Ce sont des machines dans lesquelles une certaine force dite FORCE ÉLECTROMOTRICE est développée le long d'une portion de conducteur mobile. Dans ces machines le débit électrique n'est pas proportionnel à l'allure de la machine, mais bien à la somme des forces électromotrices et inversement proportionnel à la résistance totale du circuit qui comprend la machine.

Les machines d'induction sont désignées sous les noms de MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES ou de MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES, suivant que le CHAMP MAGNÉTIQUE servant à la production de l'induction est produit par des AIMANTS ou par des ÉLECTRO-AIMANTS.

Nous allons donner la description des principaux types de ces deux genres de machines.

1° Machines magnéto-électriques.

Elles sont fondées sur les phénomènes suivants, découverts en 1831 par Faraday. 1° Si l'on approche vivement un courant électrique d'un circuit conducteur fermé, ce circuit est aussitôt parcouru par un courant appelé *induit*, de sens contraire au premier, qui est alors appelé *courant inducteur*; cette opposition de sens des deux courants fait que le courant induit est souvent dit *inverse*. 2° Quand on éloigne rapidement le courant inducteur, le courant induit

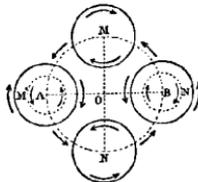


Fig. 14.

reparaît, mais cette fois de même sens que le courant inducteur; c'est pourquoi il est encore nommé *direct*.

Le courant inducteur peut être représenté par un AIMANT. Le fil qui doit recevoir le courant induit est enroulé sur une bobine creuse, dans l'intérieur de laquelle l'aimant a été introduit.

Dans les deux cas, le courant induit ou courant d'induction est essentiellement instantané; il disparaît aussitôt après sa naissance, et il n'a fallu rien moins que l'extrême sagacité de Faraday pour le mettre en évidence.

Les machines magnéto-électriques ont pour objet de rendre continus les courants d'induction, pour en faire profiter les arts et l'industrie. Cette transformation n'est pas aussi difficile qu'elle peut sembler d'abord. En effet, soit A et B (fig. 14) le pôle austral et le pôle

bordal d'un aimant ordinaire fixe, et M et N les extrémités des branches d'un électro-aimant qui peut tourner autour d'un axe projeté en O, de manière à se trouver toujours au-dessus de l'aimant AB, tantôt en croix, tantôt superposé. Dans ce mouvement, quand la branche M s'approche de A, elle se trouve soumise à l'action du courant qui circule autour de ce point ; par conséquent, en vertu du principe rappelé ci-dessus, elle reçoit le courant inverse, indiqué par le sens des flèches.

L'électro-aimant continuant son mouvement, l'action du pôle A cesse, et le courant de la branche qui va de M' en N devient direct. Quand cette même branche approche du pôle B de l'aimant, elle reçoit un courant inverse de celui du pôle B, mais de même sens que celui qu'elle recevait de M' en N. Enfin, la branche s'éloignant du pôle B, son courant devient direct par rapport à celui du pôle B.

Ainsi, dans son parcours circulaire, la branche M de l'électro-aimant est parcourue par deux courants contraires qui se succèdent : l'un se manifeste quand la branche parcourt la demi-circonférence BMA, l'autre apparaît quand la branche parcourt la demi-circonférence ANB. Donc, si le mouvement de rotation de l'électro-aimant autour de son axe O est très rapide, et si l'on recueille, au moyen de conducteurs appropriés, l'un seulement des deux courants engendrés, on aura un courant sensiblement continu.

Machine de Pixii. — Ce principe a été réalisé mécaniquement, pour la première fois, en 1832, par Pixii, au moyen d'un appareil dans lequel c'était un aimant en fer à cheval qui tournait vis-à-vis d'un électro-aimant.

Machine de Clarke. — L'appareil précédent, qu'on accusait d'être lourd et difficile à manier, a été rem-

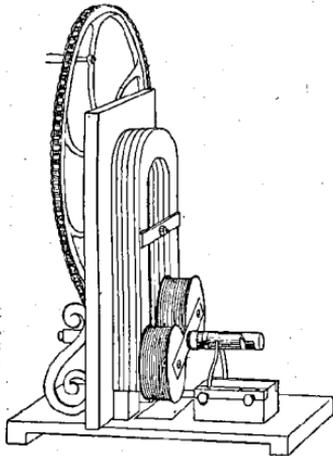


Fig. 15. — Machine de Clarke.

placé par celui du physicien anglais Clarke, dans lequel l'aimant reste fixe, pendant que l'électro-aimant tourne. Voici, du reste, comment on le construit généralement : Un faisceau aimanté vertical en forme de fer à cheval est solidement fixé sur un bâti (fig. 15), et un

électro-aimant à deux bobines est monté sur un axe parallèle à ses noyaux et perpendiculaire au plan du faisceau aimanté, de sorte qu'en tournant les extrémités de l'électro-aimant viennent aussi près que possible des faces de l'aimant, mais sans les toucher. Avec cette disposition, lorsque les bobines de l'électro-aimant, par suite de sa rotation sur son axe, s'approchent des pôles de l'aimant, les noyaux s'aimantent et produisent un courant d'induction d'un certain sens ; lorsque les bobines s'éloignent, les noyaux se désaimantent et font naître un courant d'induction de sens contraire au premier, mais de même sens que celui déterminé par leur rapprochement des pôles de noms contraires de l'aimant. Il en résulte que les bobines sont parcourues par des courants d'un certain sens pendant la moitié de la révolution de l'électro-aimant, et par des courants de sens contraire pendant l'autre moitié ; mais comme, d'autre part, les fils des bobines sont en communication avec deux plaques métalliques demicylindriques montées sur l'axe de rotation et isolées sur lesquelles frottent deux ressorts conducteurs reliés aux bornes de la machine, à chaque changement de sens du courant les ressorts en contact avec ces plaques changent aussi, et, en définitive, le circuit extérieur est parcouru par une série de courants d'induction toujours de même direction. L'ensemble des deux pièces métalliques isolées et de deux ressorts frotteurs ou balais se nomme, en général, *commutateur à renversement de pôles*. Il est employé, avec quelques modifications, dans toutes les machines à courants redressés (machines Gérard, Siemens, à armature en double T, Marcel Deprez, Wilde, Ladd, Brush, Farmer-Vallace, etc.).

Il existe maintenant une foule de machines magnéto-électriques, dont chacune a des qualités particulières, dues à certains détails de construction ; mais elles ressemblent toutes sur le même principe que la machine de Clarke. Si l'on adapte des poignées de métal aux deux extrémités du fil amovible, et que l'on tienne ces poignées dans les mains, on peut recevoir une violente commotion. Au moyen du courant, on peut décomposer certaines substances, faire rougir des fils métalliques, aimanter le fer, dorer, argenter, bronzer, etc. La médecine moderne emploie l'électricité pour le traitement d'un assez grand nombre de maladies, et, à cet effet, il existe plusieurs appareils magnéto-électriques (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, *Appareils magnéto-électriques*). Mais, si nous jugeons que c'est assez de mentionner ces appareils, après en avoir longuement exposé le principe, nous devons en place plus considérable aux machines de l'Alliance, dont l'application à l'éclairage des phares a rendu de si précieux services à la marine.

Machine de l'Alliance. — Nous allons, dans ce qui va suivre, résumer la description faite par M. l'abbé Moigno dans son livre *Sur les éclairages modernes*.

L'appareil dont nous nous occupons a été conçu en 1830 par M. Nollet, professeur de physique à l'École militaire de Bruxelles, un descendant de la famille de l'abbé Nollet, dont le nom est célèbre dans l'histoire de l'électricité. Cette machine, devenue la propriété de la *Compagnie l'Alliance*, a été beaucoup perfectionnée par M. Joseph van Malderen.

Elle se compose essentiellement (fig. 16) d'un bâti en fonte de 1^m,20 de hauteur, et de 1^m,50 de longueur. Les deux faces latérales et quasi-circulaires du bâti sont partagées en 8 parties, formant une sorte d'octogone. 8 barres horizontales, fixées aux sommets virtuels de l'octogone, soutiennent chacune 5 faisceaux aimantés, parallèles et convergent vers l'axe central du bâti. Vue horizontalement, la machine présente

donc 8 séries, composées chacune de 5 aimants; vue verticalement, elle représente 5 séries parallèles de 8 aimants. L'élément inducteur de la machine se compose ainsi, dans sa totalité de 40 aimants très énergiques, pesant en moyenne 20 kilogrammes, pouvant porter quatre fois leur poids ou 80 kilogrammes, et disposés de telle manière que, si on les considère soit parallèlement à l'axe du bâti soit perpendiculairement à cet axe, ce sont toujours les pôles de nom contraire qui sont en regard.

Les 5 séries octogonales d'aimants laissent entre

elles 4 intervalles équidistants occupés par des rouleaux de bronze. Ces rouleaux, solidement fixés à l'axe central du bâti, portent sur leur contour 46 bobines d'induction, autant qu'il y a de pôles dans chaque série verticale de faisceaux aimants; de sorte que l'élément induit ou à induire est formé de 64 bobines, tournant toutes avec l'axe horizontal du bâti, et subissant chacune, dans chaque évolution, l'influence de 16 pôles alternativement de nom contraire.

Chaque bobine est formée d'un tube en fer doux, fendu sur toute sa longueur, pour qu'il puisse perdre

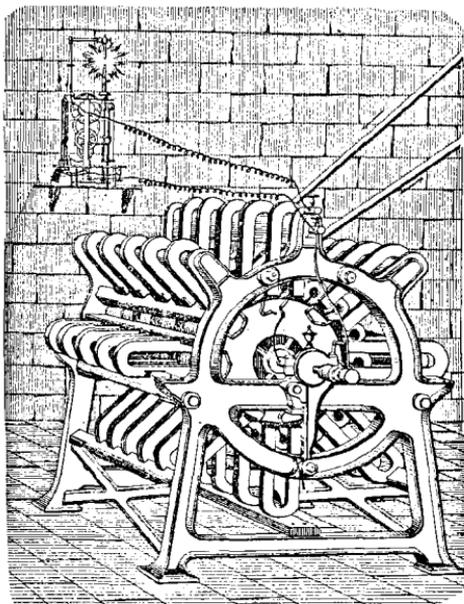


Fig. 16. — Machine de l'Alianca.

plus rapidement l'aimantation par influence qu'il acquiert par son passage devant les aimants. Sur ce tube sont enroulés 8 fils de cuivre de 1 millimètre de diamètre et de 15 mètres de longueur chacun, d'où il résulte que la longueur totale des fils enroulés sur la bobine est de 128 mètres, pesant 1,50 kilogrammes. Ces fils de cuivre sont recouverts de coton et isolés par du bitume de Judée dissous dans de l'essence de térébenthine. L'ensemble des fils ou la somme des longueurs envahies par l'électricité née de l'action inductrice des aimants est de 2.938 mètres. Sur toutes les bobines les fils sont enroulés dans le même sens. La machine fait 350 tours par minute en moyenne; c'est la vitesse qui donne le maximum d'intensité électrique. Chaque bobine, à chaque passage devant le pôle d'un aimant, reçoit un double courant, courant direct lorsqu'elle s'approche du pôle, courant inverse lorsqu'elle s'en éloigne; elle devient ainsi, par minute,

le siège ou le lieu de circulation de 10.000 courants alternatifs.

Les extrémités des fils des bobines viennent se fixer à des plateaux en bois assujettis sur des rouleaux en bronze, et là on les assemble, soit en QUANTITÉ soit en TENSION, comme les COUVRES d'une PILE. L'un des pôles du courant total est relié à l'axe de la machine et l'autre à un anneau métallique isolé de l'axe par un manchon en bois ou en caoutchouc durci (ébonite); deux ressorts frotteurs, appuyant l'un sur l'axe, l'autre sur l'anneau, communiquent à deux bornes à vis servant à relier la machine au circuit extérieur.

Il reste à dire comment la machine magnéto-électrique entre en action. Une courroie sans fin, commandée par une machine à vapeur, passant sur une poulie fixée à l'extrémité centrale de l'appareil, imprime à tout le système un mouvement de rotation très rapide, de 350 à 400 tours par minute.

La machine magnéto-électrique de la Compagnie l'Alliance a été honorée d'une médaille d'or de la Société d'encouragement en 1865. Cette récompense fut décernée à la suite des belles épreuves auxquelles elle avait été soumise, dès le 26 décembre 1863, pour éclairer le phare de la Hève, près du Havre, épreuves qui durèrent quinze mois, et qui eurent pour résultat la substitution de la lumière électrique à la lumière des huiles pour l'éclairage des phares. En faisant fonctionner une seule machine, on obtient une lumière équivalente à celle de 230 becs Carcel.

Machine Wilde. — La Compagnie l'Alliance exploita ensuite le brevet de la machine inventée par M. Wilde, de Manchester, en 1867. Voici sur quel principe très ingénieux elle repose. On sait que si l'on fait tourner une bobine vis-à-vis d'un aimant et si se forme dans la bobine des courants voltaïques; et réciproquement, si l'on fait

circuler un courant voltaïque autour d'un morceau de fer, ce morceau de fer est aimanté; de sorte que l'on peut, avec un aimant, produire de l'électricité, et, avec de l'électricité produire des aimants. Supposons donc un petit aimant permanent qui engendre un courant dans une bobine de petites dimensions; lancez ce courant dans l'hélice d'un gros électro-aimant, vous produirez un aimant plus puissant que le premier. Ce même électro-aimant peut à son tour produire un courant dans une seconde bobine mobile, plus grande que la première. Ce dernier courant, plus fort que le précédent, peut être employé à exciter un second électro-aimant encore plus considérable, et ainsi de suite : un aimant permanent devient la source d'une série d'actions alternativement magnétiques et électriques, qui dérivent les unes des autres.

L'appareil au moyen duquel M. Wilde a réalisé ce principe a l'avantage d'être léger et portatif. Il donne

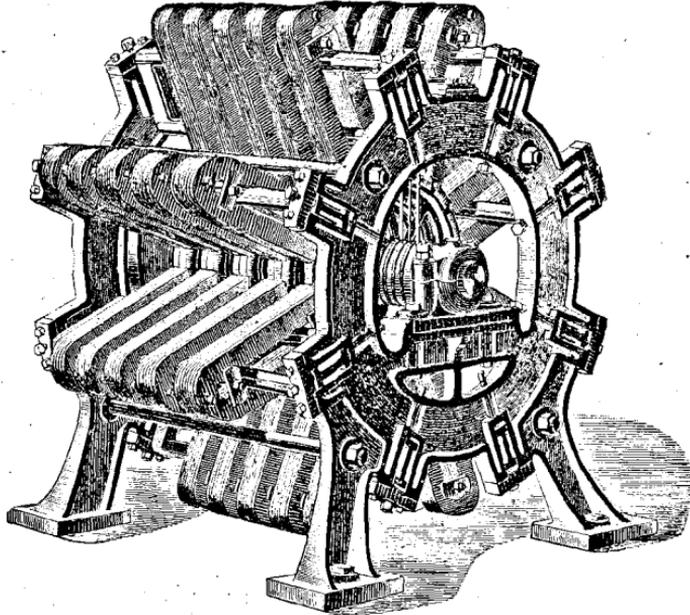


Fig. 17. — Machine magnéto-électrique de M. Méritens. (Grand modèle adopté pour l'éclairage des phares.)

une lumière d'un éclat supérieur à celui de la machine de Nollet, et une chaudière capable de fondre rapidement les métaux les plus réfractaires.

Machines de Ladd, de Siemens, de Wheatstone. — Nous nous contenterons de signaler la machine de M. Ladd, celle de M. Siemens, celle de M. Wheatstone, qui figuraient à l'Exposition de 1867. Mais nous décrirons avec plus de détail la machine de M. Méritens, construite en 1878, et adoptée depuis d'une manière générale en France pour l'éclairage des phares.

Machines de M. Méritens. — Ces machines, à courants alternatifs, se rapprochent de la machine de l'Al-

liance par la disposition du bâti et des aimants inducteurs; mais elles en diffèrent par l'induit, qui, au lieu d'être constitué par des séries de bobines montées normalement sur des plateaux de bronze, est formé d'un ANNEAU genre Pacinotti (v. MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES). Comme la machine de M. Méritens est destinée à fournir des courants alternatifs, toutes les bobines de l'anneau sont montées en tension, et l'une des extrémités du fil enroulé est en communication avec un collier, isolé de l'arbre et sur lequel appuie un simple frotteur, l'autre bout du fil est en communication avec la MASSE de l'appareil. Dans le modèle adopté pour l'éclairage des phares et représenté fig. 17, l'induit est constitué par cinq anneaux

montés sur un même arbre et actionnés par cinq rangées de huit faisceaux aimantés. Ces anneaux peuvent, suivant les besoins, être couplés en tension ou en quantité. Chaque faisceau est composé de huit lames

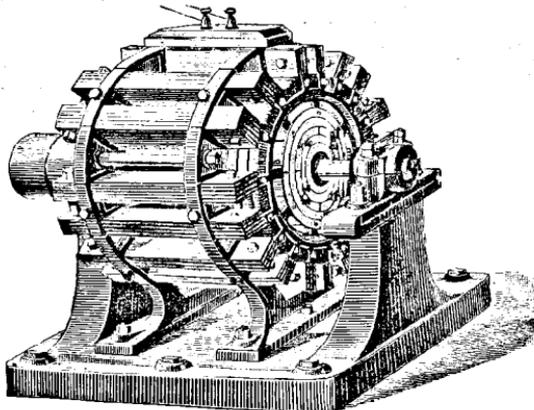


Fig. 18. — Machine magnéto-électrique de M. Méritens. (Petit modèle.)

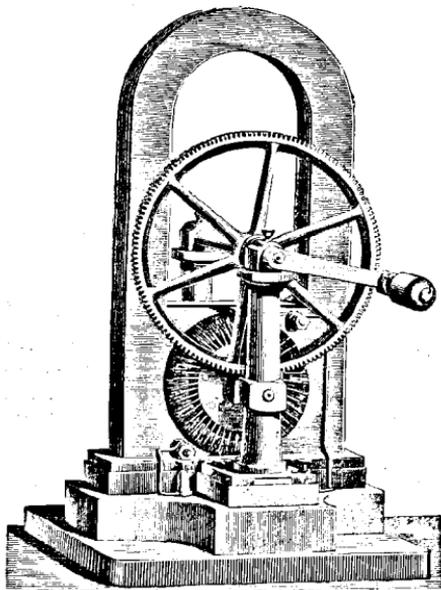


Fig. 19. — Machine magnéto-électrique de M. Gramme à aimant droit vertical.

en acier d'Alleverd. La machine représentée fig. 18 donne des courants moins énergiques que la précédente; elle n'a qu'un seul anneau, et les faisceaux aimantés sont placés parallèlement à l'axe de la ma-

chine, de manière à rendre celle-ci moins volumineuse. Les connexions des bobines sont, du reste, les mêmes que dans le grand modèle.

Machines de M. Gramme.—Nous citerons les deux types suivants, qui sont généralement employés dans les laboratoires.

Machine à aimant droit vertical, en acier d'Alleward, et qui fonctionne avec une manivelle et un engrenage.

La fig. 19 donne la vue perspective de cette machine, qui se compose d'un aimant à 4 lames d'acier en forme de portique abouissant à deux pièces polaires en fer doux. Ces pièces polaires enveloppent l'ANNEAU GRAMME presque complètement, et se retrouvent dans tous les autres types de machines du même inventeur, à l'exception toutefois des machines industrielles, dont les pièces polaires sont en fonte.

Machine à aimant Janin.—La fig. 20 en donne une vue perspective.

Cette machine a été disposée en vue de supprimer

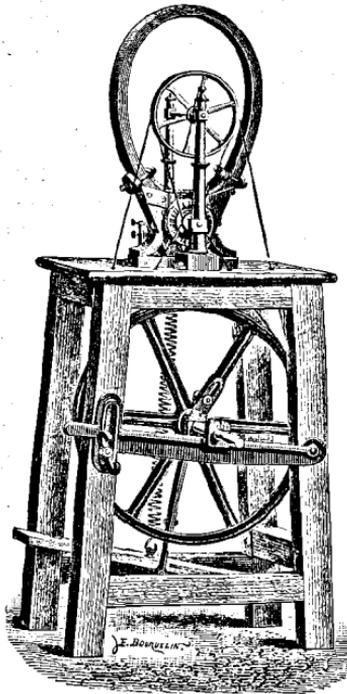


Fig. 20. — Machine magnéto-électrique de M. Gramme à aimant Janin.

le bruit que font les engrenages en tournant et d'agir avec le pied au lieu de la main.

Le système de transmission du mouvement imaginé par M. Raffard mérite d'être signalé: sous la table se trouve un volant qui commande une petite

poulie montée sur l'axe de l'anneau Gramme. Une troisième roue auxiliaire est placée en haut et dans le même plan que les deux autres; c'est une roue de renvoi dont on va voir l'utilité. Chacune des trois roues a deux gorges. La corde unique part de la petite poulie placée sur l'axe de l'anneau, descend au volant, monte ensuite à la roue de renvoi, redescend au volant, et remonte enfin à son point de départ à la petite roue de l'anneau.

L'axe intermédiaire, qui tourne le plus vite, est ainsi sollicité par deux brins vers le bas et par deux brins vers le haut; l'axe se trouve donc en équilibre entre deux efforts contraires et le frottement sur ses tourillons est presque nul. On observera que la roue directrice du haut à un diamètre plus petit que celui du volant et que l'angle des brins allant de l'anneau vers le haut est moindre que celui des brins allant vers le bas, de sorte que des deux effets contraires qui entraînent l'axe, celui qui prédomine est dirigé vers le haut en sens contraire de la pesanteur, ce qui est une condition favorable.

Pour donner un mouvement plus régulier, on diminue le poids de la pédale à l'aide d'un ressort à boudin, que l'on aperçoit sur la figure, et qui ramène toujours cette pédale à une position telle que le départ soit facile dès la première action du pied.

Machins Maiche.—M. Maiche a imaginé une disposition nouvelle de machine magnéto-électrique à courants alternatifs. L'inducteur est un aimant en fer

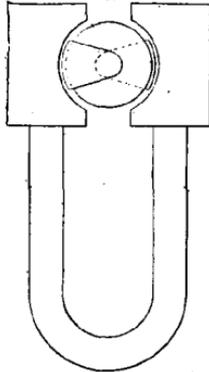


Fig. 21. — Vue en élévation.

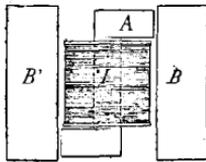


Fig. 22. — Vue en plan.

à cheval terminé par deux masses de fer doux à gorges semi-circulaires placées vis-à-vis l'une de l'autre et constituant un champ magnétique intense. Dans l'intérieur de cette espèce de cylindre se trouve l'induit, formé de deux parties principales (fig. 21 et 22), une

hobine cylindrique I, et un noyau de fer doux A terminé par deux masses perpendiculaires à son axe de rotation. Ces deux masses sont radiales et en forme de secteur, et placées de telle sorte que l'une d'elles étant près d'un des pôles de l'inducteur, l'autre se trouve diamétralement opposée et située contre le deuxième pôle de l'inducteur. On comprend facilement qu'à chaque demi-tour du noyau, celui-ci se trouve polarisé dans un sens, et en sens contraire pendant l'autre demi-tour. Il en résulte une série de courants alternatifs. On voit que dans cette machine la seule partie mobile est le noyau de fer doux, et qu'il n'y a pas de commutateur ni de BALAIS.

M. Maché a l'intention de faire une DYNAMO fondée sur le même principe en remplaçant le faisceau aimanté par un électro-aimant, qui sera actionné soit par une excitatrice à courant continu, soit par une dérivation du courant produit par la machine même. Comme ce courant est alternatif, il faut le redresser; voici comment l'inventeur compte opérer. Il prendra une dérivation aux bornes de la machine et montera en circuit sur ces deux bornes les électro-aimants inducteurs et un VOLTMÈTRE à lames de charbon et de zinc immergées dans de l'eau acidulée.

Il est bien entendu que ces lames seront d'assez grande surface, de manière à offrir au courant aussi peu de résistance que possible, qu'elles seront montées en tension comme les éléments d'une pile, et qu'enfin leur nombre sera en rapport avec la force électromotrice développée par la machine.

Voici alors ce qui se passera : à chaque émission de courant de sens contraire à celui des couples zinc charbon, la FORCE ÉLECTROMOTRICE de ces derniers contrebalancera celle de la machine et aucun courant ne passera dans les inducteurs; à l'émission suivante, le courant de la machine étant de même sens que celui des couples zinc charbon, ces deux courants s'ajouteront pour exciter les inducteurs. Comme les courants se succéderont très rapidement, les inducteurs seront parcourus par un courant pratiquement continu et de même sens.

2° Machines dynamo-électriques.

Dès 1851, Sinsteden, de Copenhague, après avoir construit et étudié une machine de Clarke, avait présenté les machines dans lesquelles les AIMANTS permanents ne seraient pas nécessaires.

Ces machines, imaginées en principe par Gorib en 1754, et exécutées la première fois par Siemens en 1867, puis perfectionnées par Wilde et Ladd (même année), sont devenues, par une série d'améliorations, les machines dynamo-électriques actuelles.

Principe du fonctionnement. — Ces machines servent aujourd'hui couramment dans les arts et dans l'industrie pour la GALVANOPLASTIE, pour l'ÉCLAIRAGE, etc. Il importe donc, avant de donner une description détaillée des plus employées, d'indiquer leurs caractères généraux.

Comme dans les machines MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES, on distingue dans les machines dynamo-électriques deux parties essentielles : un INDUCTEUR et un INDUIT; le déplacement relatif de l'un des deux produit les courants à utiliser. Le CHAMP MAGNÉTIQUE dans lequel tourne l'induit (anneau GRAMME, tambour Siemens, armatures à pignon), dont il sera parlé plus loin, est produit par des ÉLECTRO-AIMANTS.

Les machines dynamo-électriques (qui se désignent souvent dans le langage courant par le mot *dynamo*) ont sur les machines magnéto-électriques l'avantage de fournir un champ magnétique beaucoup plus

puissant et par conséquent de produire des courants plus énergiques sous un volume beaucoup moindre.

Différents modes d'excitation des machines dynamo-électriques (1). — Les machines dynamos se distinguent les unes des autres sous le rapport du fonctionnement suivant la manière dont le champ magnétique est excité. On peut ainsi les diviser en plusieurs catégories, savoir :

I. *Machines à excitation séparée ou indépendante.* — Les électros inducteurs sont excités soit par une machine séparée, soit par une PILE. Ce genre d'excitation est nécessaire pour les machines à courants alternatifs, dont nous parlerons plus loin.

II. *Machines à excitation simple ou en série.* — Les inducteurs sont excités par le courant total sortant d'un des BALAIS avant de se rendre aux appareils (lampes, RÉGULATEURS, etc) intercalés dans le circuit extérieur et avant de revenir à l'autre balai.

III. *Machines à excitation dérivée.* — Les extrémités du circuit des inducteurs sont placées en dérivation sur les balais; une partie du courant traverse le circuit extérieur, l'autre excite les inducteurs.

IV. *Machines à excitation en double circuit,* appelées aussi *Machines compound.* — Les inducteurs sont excités par deux enroulements de fils constituant deux circuits de résistances différentes, dont l'un est traversé par le courant total du circuit extérieur comme dans le deuxième cas, et l'autre seulement par une dérivation prise aux balais comme dans le troisième cas. Cette disposition a été adoptée pour certaines applications à la GALVANOPLASTIE et au TRANSPORT DE LA FORCE, par exemple.

M. Marcel Deprez a imaginé une variante à ce mode d'excitation, en faisant traverser l'un des circuits par le courant d'une machine séparée, et l'autre circuit par le courant fourni au circuit extérieur comme dans le deuxième cas. Cette disposition a l'avantage de distribuer à un nombre plus ou moins grand d'appareils placés en dérivation sur le circuit extérieur à la machine un courant ayant toujours le même potentiel, que tous les appareils ou seulement quelques-uns d'entre eux marchent ensemble.

Classification des machines dynamo-électriques. — La classification des machines dynamo-électriques peut être faite à divers points de vue. On peut prendre pour base de cette classification la nature des courants produits, ou la forme de l'induit. En dehors de ces caractères généraux il en existe d'autres moins importants, mais que l'on peut prendre également comme base d'une classification; ce sont : la nature de la partie mobile, la

(1) Dans les machines magnéto-électriques et dans les machines dynamo-électriques à excitation séparée pour les inducteurs, on voit immédiatement comment se produit l'électricité; mais pour les machines dynamos telles, par exemple, que la machine Gramme type d'atelier, comme il n'y a ni aimants permanents ni courant primaire spécial, on peut se demander comment est créé le champ magnétique autour de l'induit.

On l'explique en admettant que les inducteurs sont légèrement aimantés soit par le magnétisme terrestre lorsque la machine n'a jamais fonctionné, soit par le magnétisme rémanent provenant du fonctionnement antérieur, et qu'on fure et à mesure de la rotation de l'appareil un courant très faible d'abord se développe dans l'induit, parcourt les inducteurs en augmentant le champ magnétique, qui renforce à son tour le courant induit, et ainsi de suite jusqu'à un maximum dont les limites ne dépendent que de la saturation du fer des électros inducteurs et de la vitesse de rotation.

puissance de la machine, la présence ou l'absence de fer dans l'induit, etc.

Nous considérerons seulement les classifications basées sur les deux premiers caractères.

1^o Nature des courants produits. — Les machines sont : à courants alternatifs, à courants redressés ou à courant continu.

Dans les machines à courants alternatifs les courants induits sont recueillis tels qu'ils sont produits par les bobines sans commutateur, et se trouvent ainsi alternés, d'où le nom donné à ces machines.

Dans les machines à courants redressés le courant se trouve redressé par un commutateur chaque fois qu'il change de signe. Il en résulte que le courant passe par zéro à chaque commutation. Le type de ces machines est celle de Siemens à bobine double T.

Dans les machines à courant continu, les induits fractionnés sont reliés à un COLLECTEUR produisant des commutations partielles très nombreuses. Le courant est de forme sinusoïdale, mais se rapproche d'autant plus de la ligne droite que le fractionnement des induits est plus grand. On peut donc considérer ce courant comme pratiquement continu. Les seules machines fournissant un véritable courant continu sont celles dites unipolaires; elles ne sont pas encore entrées dans la pratique.

2^o Forme de l'induit. — Ce caractère, qui est important surtout dans les machines à courant continu, permet de les diviser en 4 classes principales, savoir :

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1 ^o Machines à anneau | (Pacinotti, Gramme, Schuckert, Brush, Burgin, Crompton, etc.), |
| 2 ^o Machines à tambour | (Siemens, Edison, Weston, etc.), |
| 3 ^o Machines à pôles | (Lontin, Naudet, Wallace Farmer, Gérard, etc.), |
| 4 ^o Machines à disque | (Ferranti-Thompson). |

C'est cette dernière classification que nous adoptons pour la description des différentes dynamos les plus employées, en faisant observer que pour toutes les dynamos on peut employer les différents modes d'excitation dont il a été question plus haut et que, dès lors, le mode d'excitation ne constitue pas un caractère suffisamment distinctif.

Mode de fonctionnement des différents induits.

Anneau Gramme et Pacinotti. — L'anneau Pacinotti a été imaginé avant l'anneau Gramme; mais nous décrivons d'abord ce dernier, parce qu'il est plus employé; il sera ensuite facile de se rendre compte du mode de construction de l'anneau Pacinotti.

Anneau Gramme. — L'anneau Gramme se compose essentiellement d'un anneau en fil de fer sur lequel sont enroulées une série de bobines de cuivre isolé, qui le garnissent complètement (fig. 23); les spires de ces bobines sont parallèles aux génératrices de l'anneau et sont montées en TENSION ou en SERIE, c'est-à-dire que le bout sortant de chacune d'elles est relié au bout entrant dans la suivante comme dans les différentes sections des grandes BOBINES D'INDUCTION DE РУМКОМФ. Chacune des liaisons d'une bobine avec la suivante est soudée avec une barre de cuivre placée parallèlement à l'axe en acier ou en fer servant à la rotation de l'anneau; l'ensemble de ces barres de cuivre est disposé de manière à former un cylindre autour de l'axe, et chacune d'elles est isolée à la fois des autres barres et de l'axe lui-même. La surface

extérieure de ce cylindre est au contraire mise à nu, et l'ensemble porte le nom de collecteur.

Sur ce collecteur frottent, aux extrémités d'un même diamètre, deux ressorts métalliques constitués par des faisceaux de fils de cuivre rouge, d'où le nom de balais qui leur a été donné; nous en verrons plus loin l'utilité.

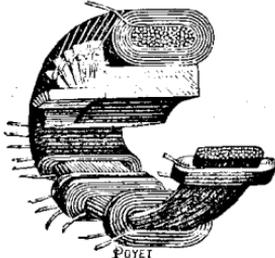


Fig. 23. — Anneau Gramme.

Fonctionnement de l'anneau. — Lorsqu'on fait mouvoir dans un champ magnétique un conducteur faisant partie d'un circuit fermé, ce conducteur devient le siège d'un courant d'induction. On peut déterminer le sens de ce courant au moyen d'une règle analogue à celle d'Ampère. Nous supposons qu'un observateur soit couché sur le conducteur de manière à regarder suivant la direction positive des lignes de force du champ magnétique, cette direction étant prise du pôle nord vers le pôle sud. Si le mouvement du conducteur a lieu vers l'observateur, le courant entrera par les pieds et sortira par la tête; si, au contraire, le mouvement ayant toujours lieu dans le même sens, l'observateur regarde suivant la direction négative des lignes de force, le courant entrera par la tête et sortira par les pieds.

Si nous prenons un anneau de fer doux ab , $a'b'$ sur lequel est enroulé un fil de cuivre sans fin et si nous plaçons cet anneau entre deux pôles magnétiques nord et sud (N et S) (fig. 24), si s'aimantera par influence et prendra deux pôles magnétiques de noms contraires S' et N' à ceux des pôles inducteurs, devant lesquels ils se trouvent placés. Faisons tourner cet anneau dans le sens indiqué par les flèches F, les pôles S' et N' se produiront toujours en face des pôles N et S et resteront fixes dans l'espace; tout se passera donc comme si l'anneau était immobile et comme si le fil de cuivre tournait seul sur le noyau métallique qui constitue l'anneau.

Considérons alors une spire de fil ab dans le champ magnétique NS' et mettons un observateur sur ce fil de manière qu'il ait les pieds en a et la tête en b , et supposons-le tourné de telle sorte qu'il regarde à l'extérieur de l'anneau vers N et que le mouvement ait lieu sur sa droite. Si l'on se rappelle ce qui a été dit plus haut, comme l'observateur regarde dans la

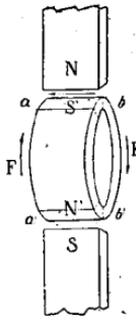


Fig. 24.

direction négative, le courant produit entrera par la tête et sortira par les pieds suivant la direction *ba*. Prenons la même spire après lui avoir fait accomplir une demi-révolution et faisons tourner l'observateur en même temps. Il aura les pieds en *a'*, la tête en *b'* et regardera toujours vers l'extérieur de l'anneau, mais cette fois dans le même sens que les lignes de force qui vont de N' vers S; le courant produit entrera alors par les pieds pour sortir par la tête, suivant la direction *a'b'*.

Les courants induits dans ces deux positions diamétralement opposées sont donc de sens contraire. Suivons la spire de cuivre dans son mouvement, l'observateur regardant toujours vers l'extérieur de l'anneau pour que le mouvement ait lieu vers la droite, on s'aperçoit immédiatement que le sens du courant se modifiera lorsque la direction des lignes de force changera par rapport à l'observateur.

Mais les lignes de force vont de l'extérieur vers l'intérieur dans la moitié supérieure de l'anneau et de l'intérieur vers l'extérieur dans l'autre moitié; leur direction change donc dans le plan perpendiculaire à la ligne des pôles NS; le sens du courant induit se modifiera donc aussi dans ce plan, que l'on appelle la zone neutre. Ceci posé, considérons, au lieu d'une seule spire toutes les bobines de l'anneau Gramme; celles occupant la moitié supérieure de l'anneau seront le siège de courants induits de même sens qui s'ajouteront et produiront un courant résultant égal à leur somme. Comme l'anneau est parfaitement symétrique, sa moitié inférieure sera parcourue par un courant d'égale intensité, mais de sens contraire. La disposition est donc absolument semblable à celle qu'offriraient deux piles identiques P et P' accouplées en opposition, (c'est-à-dire en quantité (fig. 25). Ces deux

piles ne produisent aucun courant si on les assemble par leurs pôles de même nom, tandis qu'elles accroissent leurs actions lorsqu'on fait communiquer, par un conducteur quelconque G, les deux points *a* et *b*. Les courants induits dans chaque moitié de l'anneau sont de même recueillis par les balais dont nous

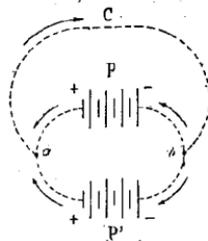


Fig. 25.

avons parlé plus haut, et que l'on a soin de faire frotter sur le collecteur aux deux extrémités d'un même diamètre, situé dans la zone neutre; et si on les réunit par un conducteur extérieur, les deux courants de l'anneau viennent s'y associer en quantité.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons fait aucune hypothèse sur le champ magnétique dans lequel se mouvait l'anneau Gramme; l'origine de sa force magnétique est indifférente, il en résulte que ce champ

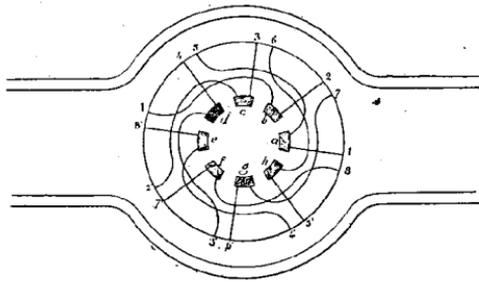


Fig. 26. — Vue en haut de l'Armature sur Tambour Siemens et de son Collecteur.

magnétique peut provenir soit d'un AIMANT, soit d'un ÉLECTRO-AIMANT (1).

Anneau Pacinotti. — L'anneau Pacinotti a été imaginé avant celui de Gramme, qui n'en est qu'une modification. Pour comprendre la disposition de l'anneau Pacinotti, il suffit de se figurer un anneau Gramme dont les bobines successives seraient assez étroites pour ne pas se toucher et dont les intervalles seraient remplis par des épanouissements en fer doux du noyau intérieur, ces épanouissements venant affleurer la surface de l'anneau; le collecteur et les balais sont, du reste, en tout semblables.

(1) On a vu plus haut que l'on construit des machines magnéto-électriques du système Gramme.

Armature ou tambour Siemens. — L'anneau du tambour Siemens se distingue de l'anneau Gramme par sa forme cylindrique allongée et par l'enroulement du fil. Il se compose d'un noyau cylindrique en fer doux entouré de fil, mais ce fil est enroulé dans le sens longitudinal et seulement sur la partie extérieure du cylindre (fig. 26); on évite ainsi la perte causée par la résistance de la partie intérieure des bobines de l'anneau Gramme. Les portions de fil qui se croisent sur les deux bases du cylindre sont encore sans action utile, mais pour diminuer cet inconvénient, on a allongé le cylindre. Le collecteur et les balais sont analogues à ceux de Gramme. Le fil est divisé en 8 bobines dont les 16 bouts sont désignés par les chiffres 1, 2, 3... 8 et 1', 2', 3'... 8' sur le schéma ci-dessus; la

première bobine commence par 1 et finit par 4', la deuxième commence par 2 et finit par 2', ainsi de suite.

Soient a et e les lames du collecteur en contact avec les balais. Les deux courants induits dans l'armature, qui, ainsi que dans l'anneau Gramme, viennent s'associer en quantité dans le circuit extérieur, suivent respectivement les chemins $a-1, 1'-b-2, 2'-c-3, 3'-d-4, 4'-e$ et $a-5, 5'-A-6, 6'-g-7, 7'-f-8, 8'-e$. Quant à l'inducteur, il se compose de deux électro-aimants dont les pôles de même nom sont placés en regard de façon à former deux champs magnétiques d'orientation inverse, l'un à la partie supérieure de l'anneau, l'autre à la partie inférieure N et S. Ces inducteurs, formés d'une série de lames de fer, sont légèrement incurvés sur la bobine et produisent ainsi un champ magnétique bien réparti.

Pôles.—Dans les machines dont l'induit se compose d'un anneau Gramme ou d'un tambour Siemens, le fil qui forme cet induit passe dans un champ magnétique continu, tandis que dans les machines à pôles l'induit se compose d'une ou plusieurs bobines à noyaux de fer doux. Ces noyaux étant alternativement aimantés et désaimantés donnent lieu à des courants d'induction dans les bobines. Le nom de machines à pôles donné à ces appareils provient de ce que les noyaux de fer doux des bobines de l'induit représentent des pôles.

Les bobines sont enroulées autour d'une série de pièces de fer doux disposées sur une circonférence et parallèles ou perpendiculaires à l'axe.

Les balais, au lieu d'être situés dans un plan perpendiculaire aux pôles des inducteurs, se trouvent dans le même plan qu'eux.

Disque.—Dans les machines dites à induit en forme de disque, le fil induit est enroulé de façon à constituer une série de rayons dont l'ensemble forme un disque, lequel tourne entre deux couronnes d'inducteurs. Ces derniers agissent seulement sur les parties radiales du fil induit. (V. MACHINES FERRANTI-THOMSON.)

Principe des machines à courants continus et à courants alternatifs.

Dans les machines à anneau ou à tambour, la disposition du collecteur et des balais permet de recueillir des courants que l'on peut considérer comme continus. Dans les machines à pôles et à disques, les courants

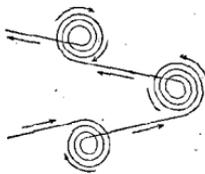


Fig. 27.

sont pris soit au moyen d'un commutateur et de balais (les machines donnent alors des courants redressés), soit directement tels qu'ils sont développés dans les bobines induites.

Comme ils changent de sens dans chaque bobine au moment où celle-ci passe d'un champ magnétique dans un autre, le courant recueilli se modifie en même temps; il peut se trouver ainsi renversé plusieurs milliers de fois par minute. Ces dynamos sont

dites alors à courants alternatifs. En voici le principe : les bobines induites sont placées sur la périphérie d'un disque; elles peuvent ou non être munies d'un noyau de fer doux et se meuvent entre deux couronnes d'électros dont les pôles en regard sont de noms contraires ainsi que les électros successifs d'une même couronne. Le courant induit est alors successivement de sens contraire dans chacune des bobines de l'armature mobile, et l'on arrive à associer les actions de ces bobines en les réunissant comme l'indique la fig. 27.

Machines à électros mobiles.—Il y a des machines qui, contrairement à celles dont nous avons parlé jusqu'à présent, ont les inducteurs mobiles et l'induit fixe : cela ne change rien du reste à la théorie, puisqu'il y a dans les deux cas mouvement relatif de l'inducteur et de l'induit. Enfin, d'autres inventeurs ont imaginé de faire tourner en même temps en sens opposés l'inducteur et l'induit, ce qui permet de diminuer de moitié la vitesse de chacun d'eux en conservant la même vitesse relative. Cette idée n'a pas encore été mise réellement en pratique.

DESCRIPTION DES PRINCIPALES MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES.

I. — MACHINES À ANNEAU.

A. — Machines Gramme.—On en distingue plusieurs types :

- (a) Les machines de laboratoire, dont l'inducteur est un aimant. (V. MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.)
- (b) Les machines industrielles, dont l'inducteur est formé d'un ou de plusieurs électro-aimants, savoir :
 - 1^o Machine industrielle dite type d'atelier, type A

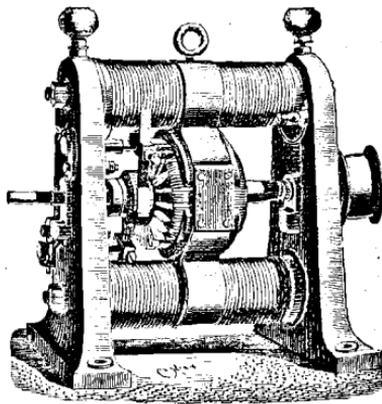


Fig. 28. — Machine Gramme type A ou type normal.

ou type normal (fig. 28). L'anneau de la machine Gramme ayant été décrit avec les détails nécessaires, nous n'y reviendrons pas, d'autant plus que dans toutes les machines du système Gramme l'anneau est toujours disposé de la même manière; ses dimensions et la grosseur du fil dont il est enroulé varient,

bien entendu, suivant les types des appareils. L'inducteur de cette machine est constitué par le bâti et se compose de deux électro-aimants montés en face l'un de l'autre, de façon que les pôles de même nom se trouvent réunis par une coquille en fonte dont l'épanouissement enveloppe l'anneau sur un arc un peu moindre qu'une demi-circconférence. Il y a ainsi deux coquilles, par conséquent deux champs magnétiques et deux balais.

Lorsque cette machine tourne à la vitesse de 900 tours par minute, elle absorbe environ 3 che-

vaux-vapeur et peut alimenter un RÉGULATEUR Gramme de 450 à 500 carcels.

2^e Machine à cinq lumières (fig. 29). — Cette machine est à peu près du même type que la précédente; seulement le fil est plus gros, l'anneau plus grand et les électros-inducteurs de forme plate. Avec cette dynamo, on peut à volonté faire marcher 1, 2, 3, 4 ou 5 régulateurs montés en série; on doit alors la faire tourner à des vitesses de 550, 750, 1.100, 1.200 ou 1.400 tours par minute; à cette dernière

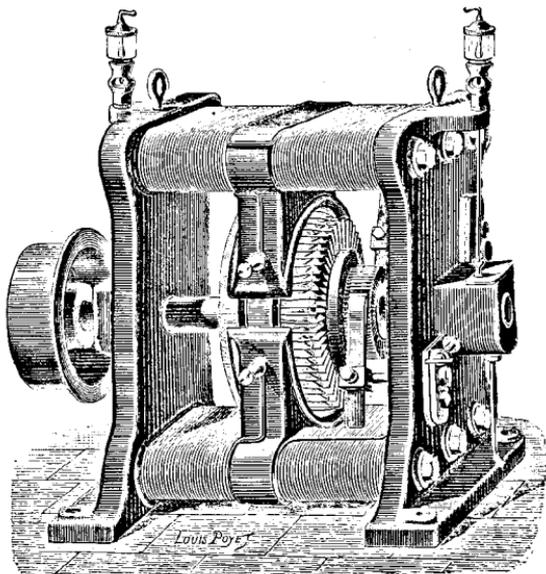


Fig. 29. — Machine Gramme à cinq lumières.

vitesse elle absorbe environ 7 chevaux-vapeur. Avec ce type de machine on peut alimenter 60 lampes à INCANDESCENCE (lampes Swan) de 16 bougies chacune.

3^e Machine octogonale pour transport de force.

— Cette machine (fig. 30) est ainsi dénommée à cause de la forme de son bâti; elle est caractérisée par l'emploi de quatre électro-aimants à double noyau agissant sur quatre épanouissements en fonte et produisant quatre champs magnétiques distincts dans lesquels a lieu la rotation de l'anneau. C'est donc une machine multipolaire; il y a par suite quatre balais, qui touchent le collecteur dans les deux zones neutres. L'anneau et le collecteur sont identiques à ceux des autres machines, à la dimension près. C'est ce type de machine qui a servi aux expériences de labourage électrique à Sernulz en 1879. (V. TRANSPORT DE LA FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ.)

4^e Machine cylindrique pour transport de force.

— Ce type, qui peut être construit un peu plus écono-

miquement que le précédent, se distingue par la forme et la disposition de l'électro-aimant inducteur, qui lui ont fait donner le nom de machine cylindrique.

L'électro-aimant inducteur est placé entre les deux flasques de fonte qui servent de support à la machine; les noyaux en fer doux sur lesquels sont enroulés les bobines sont fixés sur une des flasques qui leur sert de culasse et terminés à l'autre extrémité par deux épanouissements en forme de demi-cylindres entre lesquels tourne l'anneau. Pour éviter le porte-à-faux du côté de la bobine, l'axe de celle-ci est supporté par un étrier qui fait corps avec la deuxième flasque, sur laquelle sont aussi montés les deux balais.

On a construit différents modèles de ce type, depuis celui de 1 kilogrammètre ($\frac{1}{75}$ de cheval-vapeur) jusqu'à 16 chevaux-vapeur (1.200 kilogrammètres).

5^e Machine type supérieur. — M. Gramme a créé tout dernièrement un type économique de machine

pour transport de force et pour éclairage, qu'il a désigné sous le nom de *machine type supérieur* et dont

la *fig. 31* donne une vue perspective. Cette machine se compose en principe d'un électro-aimant en fonte

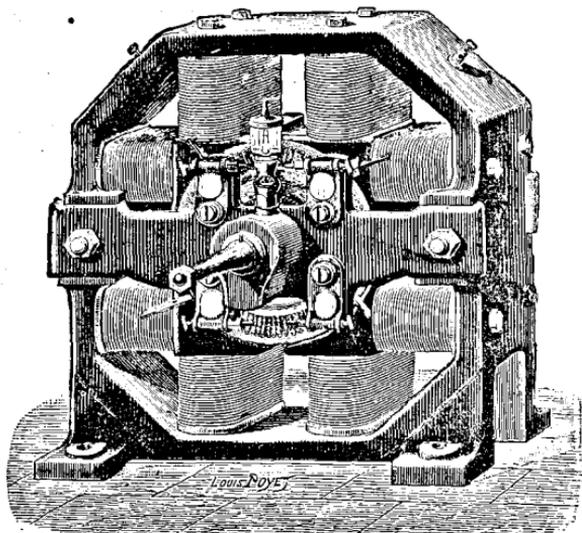


Fig. 30. — Machine Gramme octogonale.

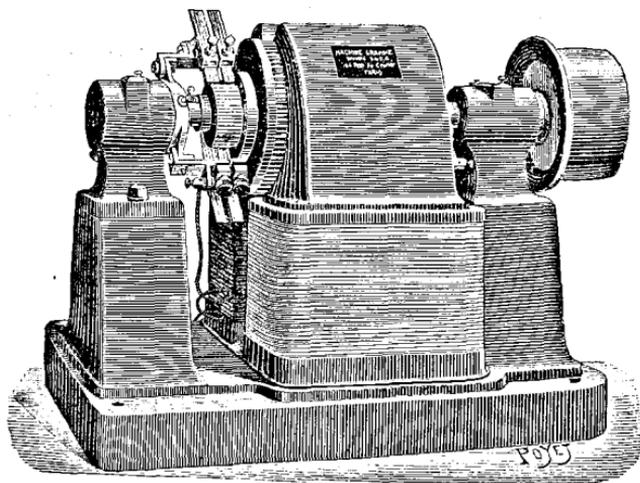


Fig. 31. — Machine Gramme type supérieur.

terminé par de puissantes pièces polaires en forme de mâchoires qui enveloppent l'induit presque complètement, et de deux supports également en fonte qui reçoivent l'arbre central et sa poulie; d'une plaque

de fondation réunissant l'électro et ses supports; d'un anneau Gramme et de son collecteur, enfin des balais, porte-balais et autres pièces accessoires communes à toutes les dynamos. Ce qui caractérise la nouvelle machine c'est que la plaque de fondation, les supports d'arbre, les aînes d'électro-aimants et les parties polaires ne forment qu'une seule et même pièce de fonte; toute l'ossature est donc constituée d'un seul bloc, il n'y a qu'un palier de rapporté pour permettre de placer l'anneau.

En prenant 4 machines de ce type montées en tension, comme génératrices, et 3 machines montées également en tension, comme réceptrices, on a pu transporter une force effective de 50 chevaux à travers une résistance de 100 OHMS avec un rende-

ment industriel supérieur à 50 %. On trouvera au mot TRANSPORT de LA FORCE la relation de ces expériences.

6^e Machines à galvanoplastie. — Les machines destinées à la GALVANOPLASTIE sont disposées de la même manière, comme bâti, noyaux, etc., que les machines à lumière; mais, comme elles doivent avoir une très faible résistance intérieure pour débiter beaucoup d'AMPÈRES avec peu de POTENTIEL, le conducteur enroulé sur les inducteurs est formé d'une seule bande de cuivre dont la largeur occupe toute la longueur des noyaux d'électros et fait plusieurs tours sur ceux-ci. Le fil de l'anneau est aussi remplacé par d'épaisses bandes de cuivre.

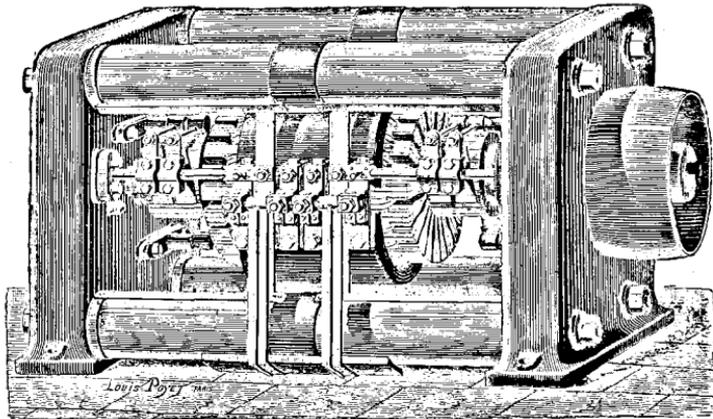


Fig. 32. — Machine Gramme à galvanoplastie.

Il existe différents modèles de ces machines, depuis celle donnant un courant d'une intensité de 25 à 30 ampères et d'une force électromotrice de 4 à 10 volts jusqu'à la grande machine à 4 électros et 4 balais qu'on peut monter en tension ou en quantité et qui, suivant le montage, peut donner à une vitesse de 500 tours par minute, soit 3.500 ampères et 4 volts, soit 1.750 ampères et 8 volts. On peut porter la vitesse de rotation de cette machine à 750 tours, ce qui augmente sa force électromotrice de 50 %.

La fig. 32 donne la vue perspective de cette dernière machine, qui est employée aujourd'hui dans les usines de raffinage de cuivre.

7^e Machines à courants alternatifs. — Ces machines ont été créées spécialement pour l'éclairage par les bougies Jablchkoff.

L'induit, qui est extérieur, se compose d'un tambour en fer ou en fonte enroulé, suivant ses génératrices, de fil sectionné en bobines distinctes comme les anneaux des machines à courant continu. A l'intérieur de ce cylindre, et montés sur un axe commun, tournent 8 électro-aimants plats dont les pôles exté-

rieurs sont alternativement de noms contraires; les deux extrémités du fil qui recouvre ces électros communiquent avec deux anneaux métalliques isolés sur lesquels s'appuient deux balais qui y transmettent le courant de l'excitatrice. Primitivement, l'excitatrice était séparée, ce qui nécessitait deux transmissions; on a simplifié cette disposition et les machines actuelles se composent en réalité de deux machines distinctes mais montées sur le même arbre, l'une à courants alternatifs, l'autre à courant continu, ce qui rend l'installation plus facile et moins coûteuse.

On construit plusieurs modèles de ce type, depuis celui qui peut alimenter 2 ou 4 bougies Jablchkoff jusqu'à ceux de 20 bougies.

B. — Machines Brush. — Le type à courant continu de 16 foyers à ARC a un induit en forme d'anneau et des inducteurs fixes (fig. 33.)

Les inducteurs se composent de deux électros plats de fortes dimensions à pôles épanouis. Comme dans les machines Gramme et Siemens, les pôles placés vis-à-vis l'un de l'autre et entre lesquels tourne l'induit sont de même nom. L'armature Brush est d'une cou-

struction différente de celles que nous avons vues jusqu'ici, quoique ressemblant par plus d'un point à une armature Pacinotti qui n'aurait que 3 bobines. Le noyau est formé d'une couronne de fonte de section rectangulaire, dont les faces sont alternativement pleines et évidées, les parties creuses servant à loger les fils des bobines induites. Les parties pleines portent une série de cannelures concentriques qui diminuant le poids de la fonte, favorisent son refroidissement et sont, en outre, destinées à empêcher la production des COURANTS DE FOUCAULT.

Dernièrement on a modifié l'armature, laquelle, au lieu d'être construite en fonte, est maintenant composée de lamelles de fer doux. Ce perfectionnement a

permis d'augmenter considérablement le débit du générateur.

L'enroulement n'est pas continu comme dans l'anneau de Gramme; les bobines induites, au nombre de 8, sont enroulées dans le même sens et groupées deux à deux; les extrémités intérieures des fils des bobines diamétralement opposées se trouvent reliées l'une à l'autre. Les bouts extérieurs de ces fils traversent l'arbre de la machine et sont fixés au commutateur.

Celui-ci se compose de quatre anneaux plats en cuivre séparés les uns des autres et isolés de l'axe. Ces anneaux communiquent chacun avec une paire de bobines et sont disposés en deux groupes, chaque

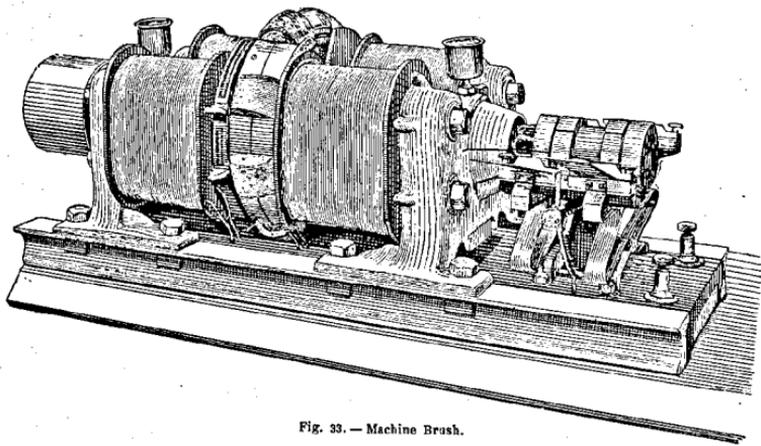


Fig. 33. — Machine Brush.

groupe comprenant deux anneaux qui correspondent à deux paires de bobines placées sur des diamètres rectangulaires. Enfin chacun de ces groupes comporte deux balais qui touchent en même temps les deux anneaux. Un anneau se compose de deux grands segments

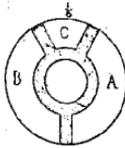


Fig. 34.

A et B auxquels sont attachées les extrémités extérieures du fil de la paire de bobines correspondantes et d'un segment isolé C égal à 1/8 de la circonférence (fig. 34). Lorsque ce segment se trouve en face d'un balai, la paire de bobines est mise hors circuit. Comme il y a deux balais, cette mise hors circuit

arrive deux fois par tour, et d'après la disposition de la machine, elle a lieu au moment où les deux bobines sortent d'un champ magnétique inducteur pour entrer dans l'autre, c'est-à-dire pendant leur période d'inactivité. De cette manière la résistance de ces bobines se trouve supprimée lorsqu'elles sont dans la zone neutre, où elles ne produisent aucun courant et où même elles en absorbent par leur résistance. Les anneaux du commutateur, accolés l'un à l'autre, correspondent à des paires de bobines placées rectangulairement. Les segments isolés C occupent eux-mêmes des positions rectangulaires. Il en résulte que pendant une révolution de l'armature on a pour chaque groupe d'anneaux huit périodes successives :

- 1° Association en quantité de deux paires de bobines ;
- 2° Action d'une paire seule ;
- 3° Association des deux paires en quantité ;
- 4° Action de la deuxième paire seule ; etc.

De plus, quand sur un des groupes de balais on a une association en quantité de deux paires, on a sur l'autre l'action d'une paire seule. Les deux groupes de balais peuvent, du reste, être réunis en tension ou en quantité.

Voici les principales données relatives aux types de machines Brush pour l'éclairage électrique de 2 à 60 foyers.

Machines Brush construites à Londres par la Anglo-American Brush Electric Corporation.

TYPE	NOUVEAU de lampes.	CHÉAUX absorbés.	REVOLUS de par minute.	OBSERVATIONS.
4	2	3	4.100	Les machines type I sont celles dans lesquelles l'induit en fonte a été remplacé par un induit en fer doux.
4 l.	4	6	1.250	
5	6	7	900	
5 l.	10	10	1.000	
6	12	13	1.000	
7	16	17	850	
7 l.	25	22	900	
8	40	42	800	
8 l.	60	55	850	

C. — Machine de Bürgin. — La machine dynamo de Bürgin est à courant continu. Elle est formée de deux électro-aimants inducteurs dont les pôles de même nom sont en regard, comme dans la majorité des dynamos. Son armature seule la distingue et, comme forme extérieure, tient le milieu entre l'anneau Gramme et le tambour Siemens.

Cette armature est constituée, dans le type le plus courant, de huit anneaux placés à côté les uns des autres de façon à former un cylindre. Chacun d'eux se compose d'un faisceau hexagonal de fil de fer, fixé sur un cadre calé sur l'axe de rotation. Chaque côté de cet hexagone est recouvert d'une bobine de fil de cuivre isolé et enroulé de telle sorte qu'elle présente plus d'épaisseur au milieu que vers les angles de l'hexagone. Il en résulte pour chaque anneau une forme bombée se rapprochant de celle d'un cercle; on évite ainsi les difficultés que présente l'enroulement du fil des anneaux Gramme par suite des différences de diamètre entre l'extérieur et l'intérieur de ces anneaux.

Les huit anneaux sont fixés sur l'axe de telle sorte que chacun d'eux soit en avance de $\frac{1}{48}$ de circonférence sur le précédent, et il en résulte que chaque bobine est en avance de $\frac{1}{48}$ sur la bobine correspondante de l'anneau précédent et en retard de $\frac{1}{48}$ de celle de l'anneau suivant. Par suite, les 48 bobines sont en réalité disposées autour de l'axe à égale distance les unes des autres.

Le collecteur est semblable à celui de Gramme; il est composé de 48 lames isolées entre elles et correspondant chacune avec la fin d'une bobine et le commencement de la bobine de même rang de l'anneau suivant. Autrement dit les huit premières lames du collecteur sont reliées aux bobines n° 1 des huit anneaux, la neuvième réunit la bobine n° 1 du huitième anneau à la bobine n° 2 du premier, les 7 autres bobines n° 2 succèdent puis la bobine n° 3 du premier anneau et ainsi de suite.

L'anneau Bürgin offre les avantages suivants: légereté, facilité de construction et de démontage; libre passage laissé à l'air pour le refroidissement par la ventilation.

Par contre, ces machines ne donnent pas le maximum d'effet, parce que les sommets des hexagones ne sont pas recouverts de fil et surtout parce que les espaces vides entre les anneaux laissent une partie du champ magnétique non utilisé.

On construit ces machines à excitation en série ou en dérivation suivant leur genre d'application.

D. — Machine Crompton. — C'est une machine à courant continu dont les électro-aimants inducteurs, au nombre de deux, ont leurs pôles de même nom en regard (fig. 35). L'armature, qui d'abord avait

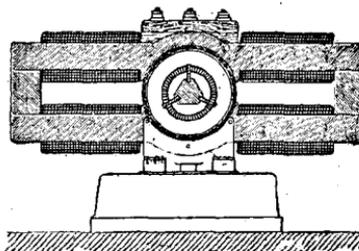


Fig. 35. — Machine Crompton.

été faite semblable à celle de la machine Bürgin, passa par une série de perfectionnements consistant à diminuer le nombre des anneaux partiels tout en augmentant leur surface; elle fut enfin, dans les derniers modèles, modifiée de telle sorte qu'on en revint à l'anneau circulaire de Gramme. Seulement la théorie et l'expérience ayant démontré l'avantage d'une grande masse de fer dans les armatures, voici comment on les construisit maintenant.

Le noyau se compose d'une série de disques en fer doux au bois d'un millimètre d'épaisseur. Chaque disque est recouvert d'une peinture isolante destinée à empêcher la formation des courants de Foucault. Sur la circonférence intérieure sont pratiquées des entailles en queue d'hironde, dans lesquelles s'enclavaient des barres de bronze phosphoreux fixées à l'axe de rotation (fig. 36). L'enroulement, le collecteur et les balais sont semblables à ceux des machines Gramme.

Par suite de l'augmentation de masse du noyau de l'armature et de la réduction de l'entrefer, les machines Crompton, très répandues en Angleterre, donnent de tels résultats qu'une seule couche de fil sur l'anneau suffit pour produire des forces électromotrices de 110 à 120 volts.



Fig. 36.

E. — Machine Fein. — Dans cette machine l'induit est constitué par un anneau genre Gramme, les pôles inducteurs portent des épanouissements et forment un canal annulaire dans lequel tourne l'anneau. Celui-ci est monté en porte-à-faux sur un disque calé sur l'axe de la machine. Presque toute la surface de l'anneau se trouve ainsi dans le champ. Mais au point de vue mécanique le porte-à-faux de

l'anneau n'est pratique que pour de petites machines. L'anneau s'échauffe beaucoup, car l'air circule diffici-

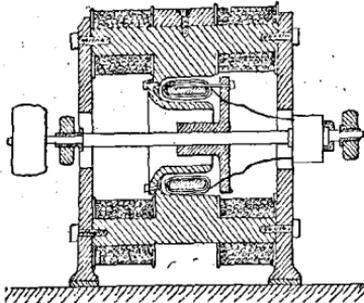


Fig. 37. — Machine Fein.

lement dans l'intervalle laissé libre entre lui et les masses polaires. (fig. 37).

F. — Machine Scherwd. — L'induit est encore un anneau Gramme. Les deux barres extrêmes

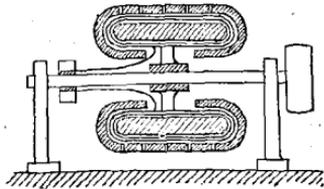


Fig. 38. — Machine Scherwd.

des noyaux des inducteurs sont repliés sur elles-mêmes de manière à recouvrir en partie la face interne de l'anneau (fig. 38),

G. — Machine Jurgensen. — Enfin la machine Jurgensen (fig. 39) a deux systèmes inducteurs, l'un extérieur l'autre intérieur à l'anneau.

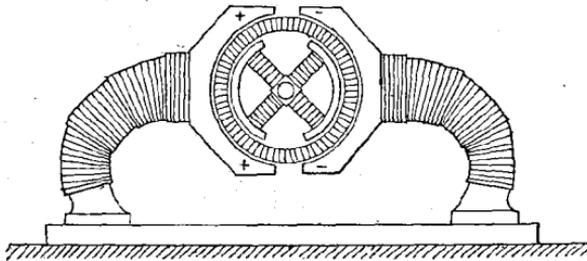


Fig. 39. — Machine Jurgensen.

H. — Machine Schuckert. — Cette machine, très répandue en Allemagne est, comme les précédentes, constituée par des électros fixes et un induit mobile. Ces électros sont au nombre de deux, et leurs pôles de même nom se font vis-à-vis, comprenant l'armature dans leur intervalle. L'anneau, sur lequel l'enroulement du fil est identique à celui de Gramme, est très aplati et composé d'une série de couronnes de tôle très mince juxtaposées et isolées les unes des autres. Le collecteur et les balais sont les mêmes que ceux de la machine Gramme. En somme cette machine ne présente d'autre particularité que la disposition du bâti, qui permet d'enlever facilement l'anneau en cas de réparation.

II. — MACHINES A TAMBOUR.

Dans les différents types de machines que nous venons d'examiner une partie seulement (quelquefois moins de la moitié) du fil induit est utilisé. Quelques constructeurs ont donné aux pôles inducteurs de leurs machines des dispositions spéciales ayant pour but d'accroître l'induction magnétique en utilisant plus

complètement le fil induit et en lui faisant couper un plus grand nombre de LIGNES DE FORCE.

Voici quelques types de machines dans lesquelles on a cherché à réaliser ces conditions.

A. — Machines Siemens. — Nous avons décrit le tambour Siemens et son fonctionnement, nous n'y reviendrons pas. Quant à l'inducteur, il se compose de deux électro-aimants dont les pôles de même nom sont placés en regard de manière à former deux champs magnétiques d'orientation inverse, l'un au-dessus, l'autre au-dessous de l'armature induite.

Ces inducteurs sont formés de lames de fer doux légèrement arquées par le milieu en face de la bobine et constituent ainsi des champs magnétiques bien répartis. Le collecteur et les balais sont identiques à ceux des machines Gramme.

La maison Siemens construit un grand nombre de modèles de ce genre de machines. On fait varier les dimensions relatives des divers organes et des fils induits et inducteurs suivant le genre d'applications auxquelles on destine les appareils.

Le fig. 40 représente une machine dont les in-

ducteurs sont placés horizontalement, et la fig. 41 leurs verticaux, qui sert d'excitatrice à une machine à courant continu à induc- | à courants alternatifs.

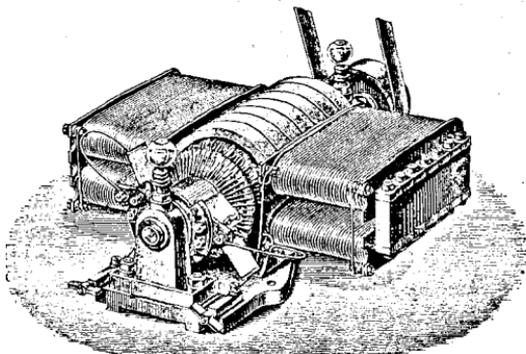


Fig. 40. — Machine Siemens à courant continu, à inducteurs horizontaux.

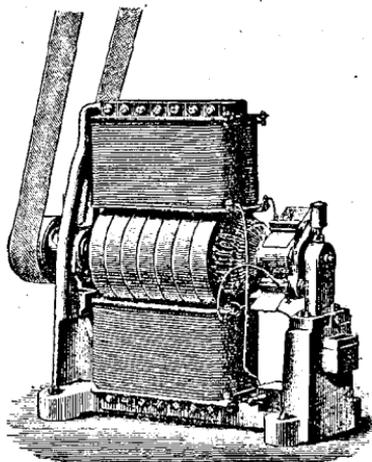


Fig. 41. — Machine Siemens à courant continu, à inducteurs verticaux.

B.—Machines Edison.— Ces machines sont à courant continu. Le noyau de l'induit est formé de fils de fer comme dans les machines Gramme, et l'enroulement est fait comme l'avons expliqué plus haut (V. TAMBOUR SIEMENS). Le collecteur et les balais sont identiques à ceux des machines Gramme. Ce qui distingue surtout les machines Edison, ce sont les fortes dimensions données aux inducteurs. Ces derniers se composent de deux bobines verticales de

grande hauteur (Fig. 42) réunies à leur partie supérieure par un bloc de fer et formant ainsi un électro-aimant très puissant. Ces bobines se terminent en bas par deux pièces massives en fer qui constituent les deux pôles magnétiques entre lesquels tourne l'induit.

Les bobines qui composent l'anneau ou plutôt le tambour sont en nombre impair, à l'inverse des autres machines. De cette manière, elles ne sont plus opposées deux à deux sur un même diamètre et les balais

ne peuvent jamais en mettre qu'une à la fois en court circuit.

Les machines Edison, qui ont été construites pour l'éclairage à incandescence avec toutes les lampes en dérivation, sont très peu résistantes, et l'excitation des inducteurs est toujours produite par une dérivation du courant prise aux balais.

Toutes les machines Edison sont établies sur le

même principe; seules les grandes machines employées à New-York pour l'éclairage d'un quartier présentent quelques particularités. Le tambour induit n'est plus composé de fil métallique, mais de barres de cuivre à section trapézoïdale au nombre de 98, isolées les unes des autres ainsi que du noyau de fer doux autour duquel elles sont disposées. Ces barres sont reliées deux à deux, sur les deux bords du cylindre qui con-

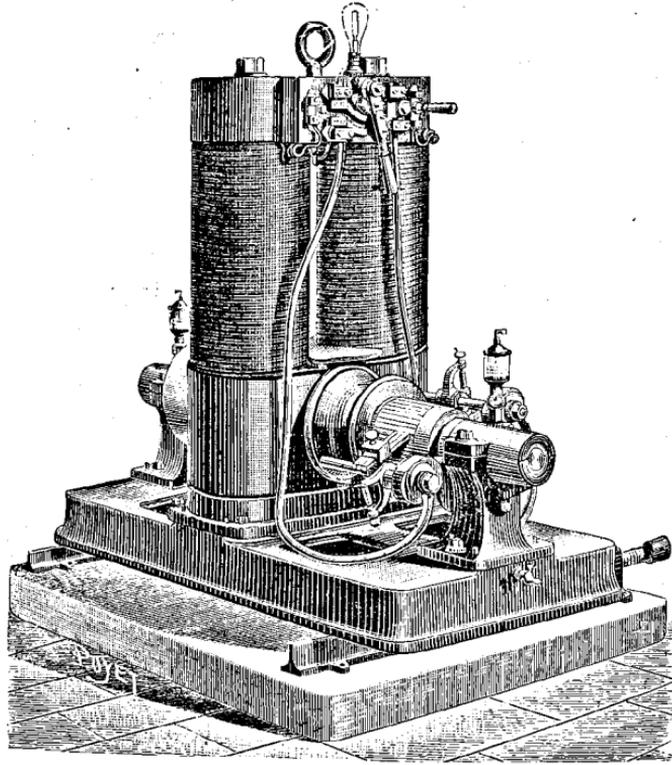


Fig. 41. — Machine dynamo-électrique Edison.

stitue le noyau de l'armature, par des disques de cuivre isolés entre eux et formant le prolongement du noyau. Ces communications se font par des oreilles en cuivre que portent les disques et auxquelles sont vissées et soudées les extrémités des barres. Sur la base antérieure, chaque disque est relié à un des 49 segments qui constituent le collecteur.

Ces dispositions ont été prises par Edison dans le but de diminuer autant que possible la résistance des parties inactives du circuit. Sans trop augmenter le volume de la machine, il est arrivé ainsi à avoir une dynamo puissante dont la résistance intérieure n'est que de 0,0038 ohm. Ces machines peuvent alimenter

chacune 1.200 lampes de 16 bougies en tournant à 350 tours par minute et en absorbant environ 115 à 120 chevaux-vapeur.

La société Edison a fait construire pour l'éclairage de l'Opéra de Paris, des dynamos pouvant actionner 1.000 lampes. Ces machines sont d'une forme un peu différente de celle des autres machines Edison : les masses polaires sont comprises entre deux séries verticales d'électro-inducteurs; elles forment donc des points conséquents du système magnétique, à l'inverse de ce qui a lieu dans les autres types Edison. Chaque série d'inducteurs est formée de quatre aînes de fer, de section circulaire, en tension. Les deux séries sont

réunies en quantité. L'induit ne diffère que par ses dimensions de celui des machines de plus petit modèle. La partie utile a environ 0^m.800 de long et 0^m.600 de diamètre. La vitesse maxima, par minute, est de 330 tours.

La puissance de la machine est de 1.000 ampères et 125 volts. Le champ magnétique est excité en dérivation. Il ne consomme que 25 ampères et sa valeur atteint 5.000 unités C.G.S. C'est l'un des champs les plus puissants qu'on ait pu réaliser jusqu'ici avec une dépense aussi faible. Le courant est pris au collecteur par trois balais de chaque côté. La machine pèse 40 tonnes. Les coussinets sont munis d'une circulation d'eau autour des coquilles de bronze.

C. Machine Thomson-Houston.

Cette machine offre des dispositions spéciales qui la distinguent nettement des autres.

Elle donne une solution simple de la distribution électrique en série, car l'intensité du courant qu'elle produit est à peu près indépendante du nombre des

appareils récepteurs alimentés et même, dans une certaine mesure, de la vitesse de rotation de la machine.

Les inducteurs, portés par un bâti extérieur FF (fig. 44 et 45) qui sert également de support à l'axe de l'armature, sont formés de deux cylindres creux I, I. A leurs extrémités internes ces cylindres ont la forme

d'une calotte sphérique percée d'une ouverture, de sorte que leur ensemble laisse pour l'armature un logement sphérique. A leurs extrémités extérieures les cylindres s'épanouissent en deux larges parties annulaires formant les plaques extrêmes de la machine G (fig. 44). Ces plaques sont réunies entre elles par des barres de fer bb qui les relient magnétiquement et forment, en outre, une cage protectrice pour les fils inducteurs enroulés en C, C' sur les cylindres I, I (fig. 45).

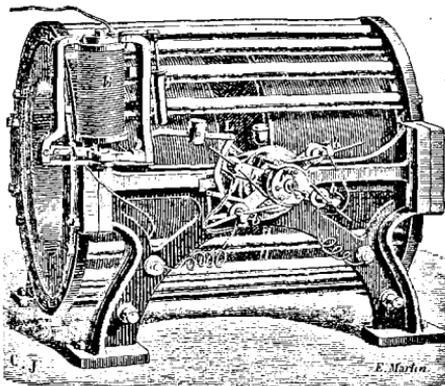


Fig. 43. — Machine Thomson-Houston. (Vue d'ensemble.)

Dans l'intervalle laissé libre entre les pôles creux des électro-aimants est placé l'induit mobile A. Il tourne sur un axe horizontal X perpendiculaire à l'axe horizontal des électros.

La machine est excitée en série, c'est-à-dire que

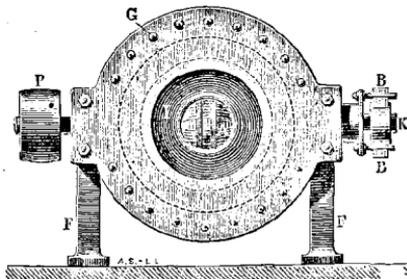


Fig. 44. (Vue en bout.)

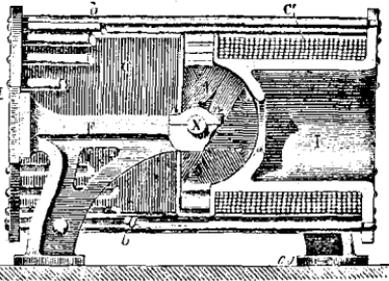


Fig. 45. — Coupe longitudinale.

ses inducteurs sont mis dans le circuit général.

L'induit est sphérique; il est construit de la manière suivante: sur l'arbre sont montées deux coquilles en fonte S, S, reliées par des traverses en fer d, d, sur lesquelles on enroule une certaine quantité de fils de fer doux W, recuits et recouverts de gomme laque (fig. 46); le tout constitue une sorte de tambour servant à l'enroulement de fils des trois bobines qui forment le système induit. Pour faciliter cet enroulement, on

insère dans le tambour plusieurs chevilles en bois J, J, J. Les trois bobines sont placées à 120° l'une de l'autre (fig. 47). Les fils entrants dans chacune d'elles sont reliés ensemble en h et les fils sortants aboutissent aux trois segments égaux du commutateur. A chaque tour de l'induit dans le champ inducteur chaque bobine est traversée par un courant dont le sens change deux fois; ces courants avant d'être envoyés dans le circuit extérieur sont redressés par les commutateurs.

Le commutateur est circulaire, il est formé de trois segments de cuivre isolés les uns des autres et occupant chacun le tiers de la circonférence. A chaque segment aboutit, comme nous l'avons dit plus haut, le fil sortant d'une bobine induite (fig. 48). Sur ce commutateur frottent quatre balais reliés deux à deux, et les balais de chaque paire sont placés de manière à toucher le commutateur en deux points distants d'environ 60°. Pour diminuer l'usure du commutateur par les étincelles qui se produisent chaque fois que les balais franchissent l'intervalle de deux segments, MM. Thomson-Houston refroidissent sa surface en insufflant de l'air chassé par un ventilateur placé sur l'arbre de la machine. Nous avons dit que la machine Thomson-Houston était à intensité constante; les variations de force électromotrice sont obtues par le changement de calage des balais, changement qui est opéré automatiquement par un régulateur spécial dont voici le

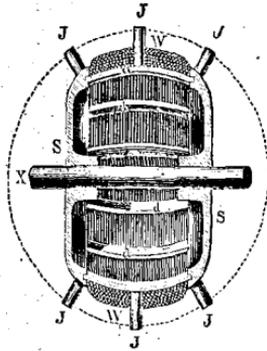


Fig. 46. — Coupe de l'induit.

disent sa surface en insufflant de l'air chassé par un ventilateur placé sur l'arbre de la machine. Nous avons dit que la machine Thomson-Houston était à intensité constante; les variations de force électromotrice sont obtues par le changement de calage des balais, changement qui est opéré automatiquement par un régulateur spécial dont voici le

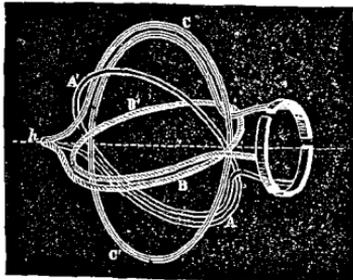


Fig. 47, indiquant le squelette de l'armature et la position relative des bobines.

principe. Les balais sont fixés sur des tiges B, B' pouvant tourner autour de l'axe de la machine et reliés par des triangles articulés à un système de leviers mis en mouvement par le noyau d'un solénoïde régulateur.

La disposition des triangles articulés est telle que lorsqu'un des balais se déplace en avant, le second balai de la même paire se déplace en arrière, mais non de la même quantité, de sorte que l'arc compris

entre les balais peut varier. L'arc compris entre les balais d'une paire peut atteindre une valeur supérieure à 60°, et l'arc compris entre les balais positifs et négatifs une valeur inférieure à 120°, c'est-à-dire à celle d'un segment du collecteur; quand le fait se produit, chaque bobine est mise en court circuit deux fois par tour et pendant un temps plus ou moins long suivant que l'arc compris entre les balais positifs et négatifs est plus ou moins éloigné des 120°.

Le solénoïde régulateur R (fig. 49) est fixé sur le bâti de la machine et placé dans le circuit principal,

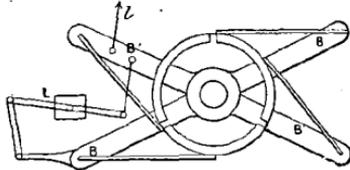


Fig. 48. — Commutateur.

le régulateur est complété par un double solénoïde CC, dont les noyaux sont suspendus à un ressort et réunis à leur partie inférieure par une culasse portant un contact en argent O butant contre un contact fixe. Si l'intensité du courant de la machine augmente, l'action du solénoïde CC sur ses noyaux est assez énergique pour les soulever et ouvrir le circuit en O. Le courant tout entier passe alors dans l'électro R, dont le noyau A relevé modifie le calage des balais; mais, en réalité, il se produit en O une série de fermetures et de ruptures du circuit qui évite des variations trop brusques dans la position du noyau de CC et par suite dans celle des balais. Enfin, pour éviter les étincelles en O, le circuit n'est pas entièrement rompu, il est toujours fermé, mais par une résistance en charbon T. Le type ordinaire des machines Thomson-

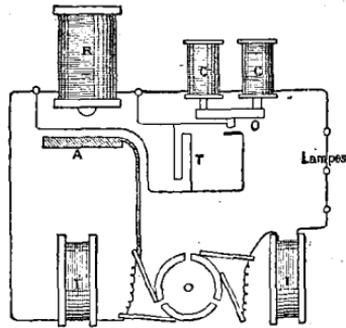


Fig. 49, montrant la disposition générale des circuits de la machine. Il sont les inducteurs, R, CC sont les solénoïdes régulateurs.

Houston est établi pour fournir un courant de 9,6 ampères; la plus petite machine de ce type peut alimenter deux lampes à arc en tension, la plus grande peut en alimenter 65; mais on construit également des machines de 5; 6, 2; 9, 6; 14 et 20 ampères.

D. — Machine dynamo-électrique à courant continu de M. Thury. — Enfin nous croyons intéressant de mentionner, parmi les

types actuels de machines dynamo-électriques, celles de M. Thury, qui sont employées pour l'éclairage des villes de Bellegarde-sur-Vaisirine (Ain) et de la Roche-sur-Foron (Haute-Savoie).

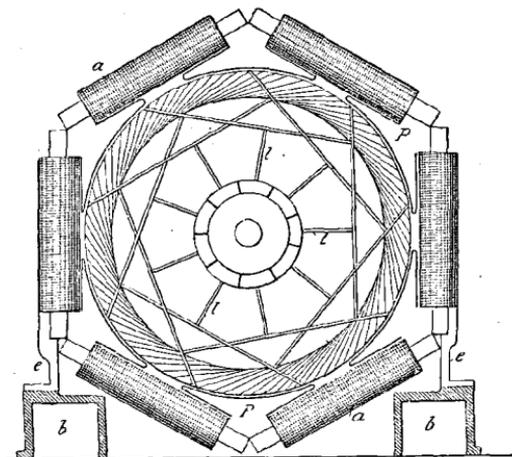


Fig. 50. — Vue en bout de la Machine Thury.

En voici une description sommaire, d'après la *Revue industrielle*. Le système Thury, représenté

fig. 50 et 51 par deux vues schématiques, est à courant continu et à six pôles. L'inducteur se compose de six

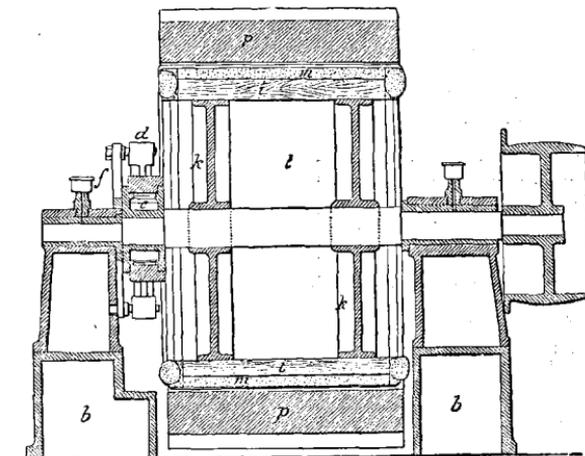


Fig. 51. — Coupe longitudinale de la Machine Thury.

électro-aimants rectangulaires *a*, assemblés sur des masses polaires *P* en nombre égal qui développent six pôles magnétiques alternativement nord et sud. Celles-

ci sont construites en fonte et disposées de façon à remplir l'intervalle qui se présente entre le sommet des angles du polygone ainsi formé et l'induit circ-

laire; de plus, les extrémités des masses polaires sont épanouies pour envelopper presque complètement l'induit. Ces particularités de construction sont nettement représentées par les fig. 50 et 51. On voit également que l'hexagone forme un ensemble bien rigide, fixé au moyen d'équerres en bronze *e* sur un bâti en fonte *b* qui reçoit les paliers supportant l'axe de la bobine.

L'induit se compose de deux disques ou poulies en fonte *k*, garnies d'un revêtement en bois qui, à son tour, est enveloppé par une masse magnétique *m*; celle-ci consiste en un enroulement de fils de fer dont l'une des couches est séparée de la suivante par une feuille de papier épais. Sur la bobine ainsi construite sont déposés les conducteurs induits. En examinant les fiches numérotées et les lettres indiquées dans le schéma fig. 52, on se rend facilement compte de cet enroulement, qui est du genre Siemens; mais, au lieu d'être reliés diamétralement, les conducteurs vont d'une fraction paire de l'armature circulaire-

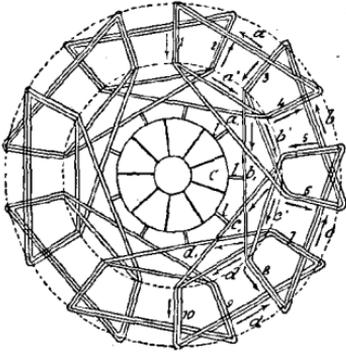


Fig. 52.

même, une des six brosses peut cesser d'appuyer sur le collecteur sans que le courant total soit pour cela interrompu.

Cette machine se construit en quatre types de 100 volts absorbant en marche normale 20, 30, 60 et 100 chevaux, tournant à 600, 450, 350 et 250 tours, et fournissant respectivement 450, 225, 450 et 750 ampères, avec une résistance intérieure de 0,034, 0,02, 0,009 et 0,004 ohm. Il convient d'ajouter que l'on a trouvé avantage à coupler les lames du collecteur de façon à n'avoir plus que deux balais pour le premier type pouvant alimenter 200 lampes à incandescence de 16 bougies, et 4 pour le deuxième, de 300 lampes. Les deux grands modèles conservent leurs six pôles et peuvent satisfaire respectivement à l'alimentation de 600 à 1.000 lampes à incandescence. Ce qui caractérise surtout le système Thury, c'est : 1° le double enroulement spécial de l'induit, qui permet de conserver une tension remarquablement constante même pour un débit très variable, et 2° sa faible vitesse axiale, grâce à laquelle il est possible, dans la plupart des cas, de relier directement la dynamo au moteur, sans l'intermédiaire de transmission. Ce second avantage est, du reste, commun à toutes les machines multipolaires dans lesquelles l'armature doit avoir un diamètre

relativement grand pour l'application des pôles. Il résulte de la réduction du nombre de tours et de la construction soignée des paliers, que l'on évite pendant la marche tout grippement de l'axe dans ses coussinets.

La faible résistance intérieure de cette machine mérite également d'être mentionnée. Elle provient du mode d'enroulement, qui réduit au minimum les parties de fil non influencées par les champs magnétiques. Appliquée à un éclairage ou à un travail variable dans des limites assez étendues, la machine n'accuse aucune variation sensible de la force électromotrice. Les inducteurs, généralement excités par un courant dérivé sur le courant principal, peuvent, du reste, être munis du double enroulement compound, de manière à rendre le réglage automatique de la machine encore plus efficace.

La fig. 53 donne une disposition, également brevetée par M. Thury, du même mode d'enroulement pour une machine multipolaire. L'induit se compose d'un disque sur lequel les parties radiales des conducteurs sont seules utiles. Ces disques sont reliés à deux séries d'électro-aimants parallèles à l'axe de rotation.

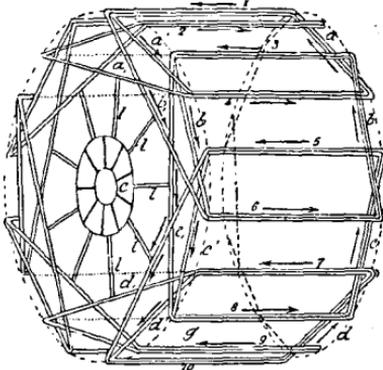


Fig. 53.

relativement grand pour l'application des pôles. Il résulte de la réduction du nombre de tours et de la construction soignée des paliers, que l'on évite pendant la marche tout grippement de l'axe dans ses coussinets.

La faible résistance intérieure de cette machine mérite également d'être mentionnée. Elle provient du mode d'enroulement, qui réduit au minimum les parties de fil non influencées par les champs magnétiques. Appliquée à un éclairage ou à un travail variable dans des limites assez étendues, la machine n'accuse aucune variation sensible de la force électromotrice. Les inducteurs, généralement excités par un courant dérivé sur le courant principal, peuvent, du reste, être munis du double enroulement compound, de manière à rendre le réglage automatique de la machine encore plus efficace.

La fig. 53 donne une disposition, également brevetée par M. Thury, du même mode d'enroulement pour une machine multipolaire. L'induit se compose d'un disque sur lequel les parties radiales des conducteurs sont seules utiles. Ces disques sont reliés à deux séries d'électro-aimants parallèles à l'axe de rotation.

E.—Machine Weston.—La machine Weston, telle qu'on la construit actuellement à New-York, se

compose d'une armature mobile entre les pôles de deux électros. Les pôles qui se font vis-à-vis sont de même nom, comme dans les machines précédentes. Ils sont constitués par des plaques métalliques qui portent une série de fentes destinées à empêcher les courants de Foucault et à faciliter la ventilation. Les bobines de ces inducteurs sont en dérivation sur le circuit principal et garnies de fil relativement fin de manière à ne dériver qu'une très faible partie du courant de la machine (2,5 à 3%). La machine Weston a une armature caractéristique. Son noyau n'est pas d'un seul morceau; il est formé par une série de disques de tôle munis de 16 dents sur leur circonférence. De plus, ces disques, calés sur l'arbre de l'armature, sont séparés les uns des autres par de petits espaces vides qui s'opposent à la production des courants de Foucault; enfin, ils sont percés d'une série de trous permettant la ventilation et par conséquent le refroidissement de l'appareil. C'est dans les 16 rainures formées par les intervalles des dents que l'on enroule le fil induct; on obtient ainsi 16 cadres galvanométriques, dont les 32 bouts sont reliés entre eux et au collecteur suivant l'ordre indiqué pour le *tambour Siemens*; le collecteur et les balais sont identiques à ceux de la machine Gramme.

Cette machine, d'après son inventeur, offre l'avantage de fournir une force électromotrice constante et qui serait pratiquement indépendante de l'intensité du courant. M. Weston assure qu'avec une machine de 100 foyers on peut maintenir instantanément 99 foyers hors circuit sans brûler pour cela le centième.

III. — MACHINES À PÔLES.

A. — Machine Lontin. — Cette machine (fig. 54), qui rentre dans la 3^e classe des dynamos, c'est-à-dire de celles pourvues d'un induct à pôles séparés, a paru

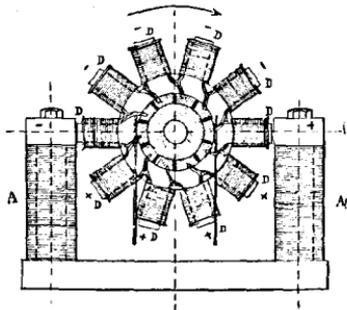


Fig. 54. — Machine Lontin.

peu de temps après la machine Gramme, et elle sert encore à l'éclairage de la gare P.-L.-M. et de la place du Carrousel, à Paris.

L'induit, nommé par l'inventeur *pignon magnétique*, se compose essentiellement d'un cylindre de fer sur lequel sont implantées des tiges de fer doux garnies de fil de cuivre et formant autant d'électro-aimants séparés; ces électros sont disposés par rangées de 12, perpendiculaires à l'axe, et chacune d'elles est un peu en retrait sur la précédente, de manière à former à la surface du cylindre 12 lignes hélicoïdales à pas très allongé.

Tous ces électros sont montés en tension comme les différentes sections d'un ANNEAU GRAMME. Des dérivations, prises entre chacune des bobines des électros, viennent aboutir à des bornes disposées suivant une génératrice du pignon. L'ensemble de ces bornes, sciées du cylindre, forme un collecteur pareil à celui des machines Gramme.

M. Bertin a imaginé de remplacer, dans les machines Lontin, les balais ordinaires par des prismes, en alliage analogue à l'*antifriction*, maintenus dans des boîtes de bronze bien isolées, et pressés contre le collecteur par un contrepois réglable à volonté. Les frotteurs de ce genre se remplacent très facilement, et présentent l'avantage d'user très peu le collecteur, mais les balais sont encore préférables.

B. — Machine Gérard. — Cette machine n'est plus à anneau ou à tambour comme les précédentes; elle se rattache à la troisième des catégories que nous avons établies plus haut.

A l'intérieur d'un tambour en fonte soigneusement alésé sont placés les inducteurs fixes, constitués par quatre électro-aimants, disposés aux extrémités de deux diamètres rectangulaires; leurs surfaces polaires également alésées en forme de cylindre contiennent l'induit. Les bobines de ces électros sont montées en tension et reliées de telle sorte que les quatre pôles développés en face de l'induit sont alternativement de noms contraires et par conséquent de même nom sur un même diamètre. L'induit se compose d'une série de plaques de tôle plus ou moins nombreuses en forme de croix enfilées sur un arbre en acier; chacune des

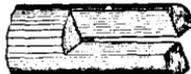


Fig. 55. — Commutateur de la Machine Gérard.

branches ainsi constituées est garnie de fil, et chacune des croix forme quatre bobines, qui sont polarisées par les inducteurs. Ces bobines fournissent un courant qui change de sens quatre fois par tour, au moment où les bobines passent d'un champ magnétique dans l'autre. Elles sont réunies en tension, et leur enroulement est tel qu'à un moment donné le courant ait le même sens dans les quatre bobines. Le courant changeant dans l'induit quatre fois par tour, il est nécessaire de le redresser avant de l'envoyer dans les inducteurs et dans le circuit extérieur. Pour cela, le commutateur est formé de deux petits cylindres en cuivre entaillés comme l'indique la fig. 55. Ils s'embollent de façon que les parties pleines de l'un entrent dans les parties entaillées de l'autre tout en restant isolées. Les deux extrémités du fil de l'induit aboutissent respectivement aux deux cylindres, et les balais ne sont plus placés aux extrémités d'un même diamètre, mais font entre eux un angle de 90°. Il résulte de cette disposition qu'ils touchent chacun l'un des cylindres et communiquent par conséquent chacun avec l'un des bouts du fil induit.

Si on considère alors la machine en mouvement, au bout d'un quart de tour, le courant change de sens dans les bobines induites; mais en même temps les deux cylindres ont changé de balais, on aura donc dans le circuit extérieur un courant toujours de même sens. Ce mode de redressement de courants a permis de construire un commutateur de forme simple et d'établir ces machines à un prix peu élevé.

IV. — MACHINES A DISQUE.

A. — Machine de Siemens à courants alternatifs. — Ces machines reposent sur les principes que nous avons exposés plus haut. Elles se composent de deux couronnes d'électro-aimants inducteurs fixes placés en regard les uns des autres et de telle sorte que deux champs magnétiques successifs soient

d'orientation inverse. Entre ces deux couronnes d'électros actionnés par une excitatrice à courant continu, tourne une couronne de bobines induites sans fer et dont le nombre est égal à celui des champs magnétiques (fig. 56).

Les électros inducteurs ont pour noyau des cylindres en fer doux sur lesquels est enroulé le fil inducteur. L'armature mobile est formée de deux flasques

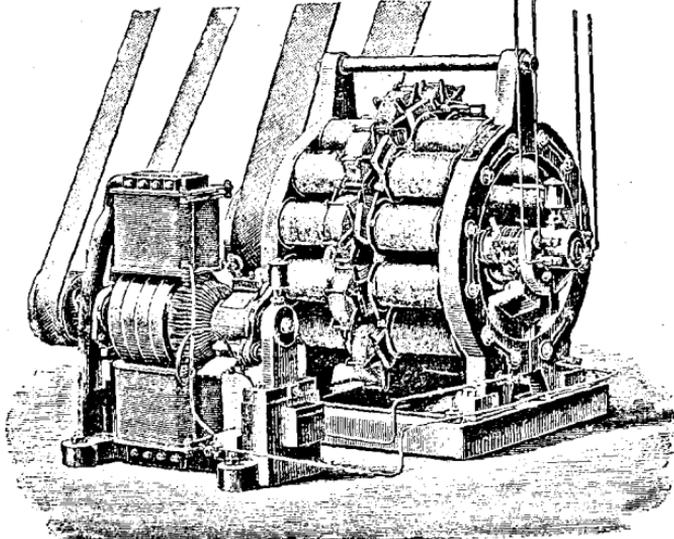


Fig. 56. — Machine Siemens à courants alternatifs, actionnée par une machine à courant continu.

en métal non magnétique percées de trous et dont l'écartement est maintenu par des entretoises en bois autour desquelles est enroulé le fil induit.

L'armature est ainsi plus légère, et on évite l'échauffement de la machine tant par l'absence de fer dans les bobines que par la ventilation produite par les trous percés dans les flasques. Les deux extrémités du fil induit aboutissent à deux bagues métalliques montées sur l'axe de la machine; ces bagues sont isolées et servent d'appui aux balais destinés à envoyer le courant alternatif dans le circuit extérieur. Du reste, les bobines de l'armature sont disposées de telle sorte que l'on puisse les grouper en tension ou en quantité. On construit des machines de ce type de plusieurs grandeurs pour alimenter soit des RÉGULATEURS, soit des lampes à INCANDESCENCE.

B. — Machine Ferranti-Thomson. — Cette machine dynamo à courants alternatifs est assez recherchée en Angleterre, où elle reçoit de nombreuses applications pour l'éclairage à incandescence. Elle est basée sur le principe des dynamos alternatives, que nous avons précédemment exposé, et se compose essentiellement d'une armature induite tournant entre deux rangées circulaires d'électro-aimants inducteurs dont les pôles sont alternativement de noms contraires. Chaque rangée est formée de seize électros de forme ovoïde, montés en tension et excités par

une machine Siemens à courant continu (fig. 57). L'armature a une forme particulière; elle ne renferme aucune pièce de fer, et se compose d'un ruban de cuivre de 0.36 mètres de longueur, de

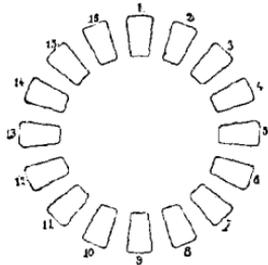


Fig. 57.

Disposition et forme des électro-aimants inducteurs.

0m,012 de largeur et de 0m,002 d'épaisseur. Ce ruban est contourné suivant une forme sinusoïdale; le nombre des boucles extérieures est de huit, c'est-à-dire moitié du nombre des électros; il s'enroule douze

fois suivant cette courbe, en fournissant ainsi douze couches successives isolées les unes des autres par des bandes de caoutchouc; ses deux extrémités sont soudées à deux manchons métalliques isolés, fixés sur l'axe de l'armature et sur lesquels appuient les balais des frotteurs destinés à recueillir les courants (fig. 58).

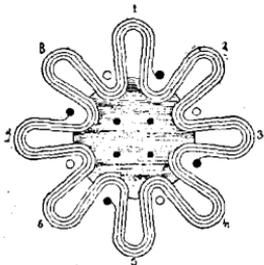


Fig. 58. — Armature induite.

Si nous considérons deux parties radiales voisines de ce ruban, nous voyons que l'une d'elles s'approche d'un champ magnétique situé en face d'un pôle nord, par exemple, et que l'autre s'approche d'un champ magnétique d'orientation inverse développé en regard d'un pôle sud. Les courants induits dans ces deux parties sont donc de sens contraire, mais comme ces deux branches de l'armature sont de sens opposé (l'une d'elles se rapprochant de l'axe, l'autre s'en éloignant), il en résulte que ces deux courants s'ajoutent et que le même effet se produit à la fois dans toutes les parties de l'armature (fig. 59). Les courants pro-



Fig. 59. montrant l'armature induite passant devant les électros inducteurs.

duits changent à la fois dans toute l'armature au passage d'un champ magnétique dans l'autre, soit seize fois par tour.

Les avantages de cette machine sont : d'abord d'avoir une armature relativement légère par suite de l'absence de fer, ce qui permet de lui donner une vitesse de rotation de 1.800 à 2.000 tours par minute, vitesse difficile à obtenir avec les autres dynamos du même genre et ensuite d'avoir une résistance très faible (0,0265 ohm). M. Ferranti, convaincu des avantages que présentent les grandes machines, en a construit une, fondée sur le même principe, qui avec une vitesse de 1.000 tours par minute débite 2.000 ampères avec une force électromotrice de 101 volts et peut alimenter 5.000 lampes Swan de 16 bougies. Dans cette dernière machine le nombre des électros est doublé ainsi que celui des boucles de l'induit. Les électros ne sont plus recouverts de fil, mais ils sont entourés de barres de cuivre ondulées de façon à passer

alternativement au-dessus et au-dessous de chaque noyau d'électro, ce qui produit le même effet magnétique que les fils. Il y a ainsi 9 barres métalliques reliées en tension, et ce système a une très faible résistance tout en produisant des champs magnétiques très intenses; de même l'armature est composée de 4 rubans de cuivre au lieu d'un seul, et ceux-ci sont assemblés en quantité. Les frotteurs ne sont plus, dans ce cas, des balais, mais de fortes pièces de métal pressées par des ressorts contre les anneaux collecteurs.

Applications diverses des machines dynamo-électriques. — Les machines dynamo-électriques sont maintenant employées pour l'éclairage électrique, la galvanoplastie, la navigation, la transmission et le transport de la force, etc.

Dans les arts militaires on se sert, pour projeter la lumière électrique et produire des signaux de télégraphie optique, de machines portant à la fois dans un très petit espace le moteur et le générateur d'électricité : une petite machine à vapeur menant directement une machine Gramme, ainsi que de puissants appareils projecteurs renvoyant la lumière en un seul faisceau dont la portée devient très grande. On les installe sur un chariot s'il s'agit de fonctionner sur terre, sur le bord du navire pour les opérations maritimes. La fig. 60 donne la vue d'une locomobile avec machine Gramme. Cet appareil est adopté par le gouvernement français pour la défense des places et des côtes.

Pendant la guerre de Tunisie (1881) les machines électriques installées à bord des navires de guerre ont rendu de grands services pour éclairer un but de tir, surveiller une position ennemie, ou pour préparer et faciliter un débarquement ou une attaque nocturne.

La fig. 64 donne la vue d'une machine du système Brotherhood, conduisant directement une machine dynamo-électrique. Le nombre de tours que font la machine à vapeur et la machine dynamo est mesuré par un tachymètre, dont on aperçoit le cadran sur la figure.

La machine électrique est du type Gramme, modèle D. Des expériences faites en Angleterre, en 1879-1880, à l'École du génie militaire de Chatham, sur l'emploi pour la lumière électrique de différents générateurs électro-dynamiques, il résulte que la machine Gramme modèle D (qui donne une intensité lumineuse de 1.821 bougies par cheval) doit être préférée, en raison de la facilité avec laquelle elle peut être manœuvrée par des gens peu exercés sans que les fils s'échauffent ou qu'il se produise d'étincelles aux collecteurs.

En ce qui concerne l'application des machines dynamo-électriques à l'éclairage intérieur des navires, nous rappellerons que nous avons donné, au mot ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE, un exemple d'installation à bord du paquebot l'Océanien. Nous complétons ces renseignements en reproduisant la vue en plan et en élévation (fig. 62 et 63) des moteurs Mëgy et des dynamos placés dans la cale de ce navire. Ces machines occupent, comme le montrent ces dessins, un espace très restreint : 2^m,26 X 4^m,33 soit 9,77 mètres carrés.

MM. Sauller-Lemoulier et C^e construisent maintenant pour l'éclairage électrique des navires des moteurs compound genre pilon et des dynamos Duplex assemblés sur la même plaque de fondation et reliés directement. Cette disposition permet de supprimer entre le moteur et la machine électrique les organes

intermédiaires : engrenages, courroies, cordes ou autres, ce qui constitue une amélioration très importante.

Cet ensemble a été employé l'année dernière pour la première fois à bord du croiseur japonais l'*U-*

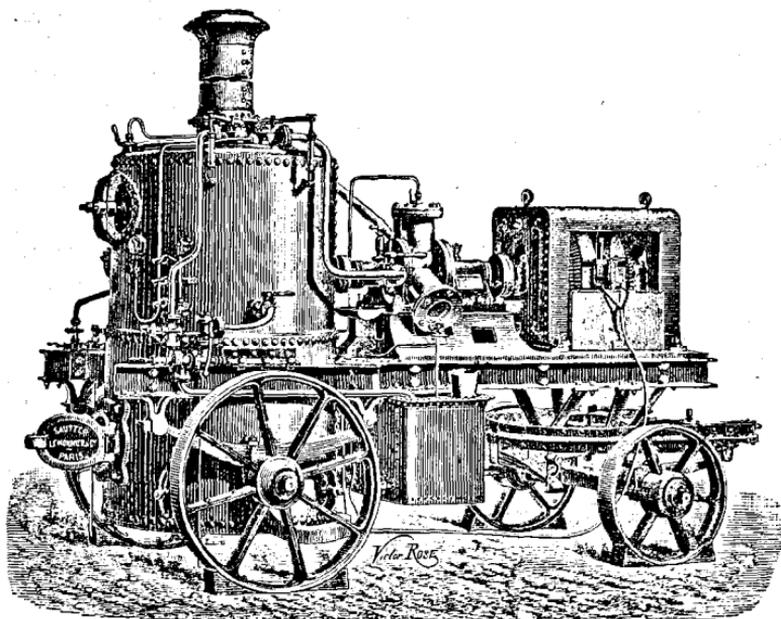


Fig. 80. — Locomobile avec machine Gramme pour la défense des places et des côtes.

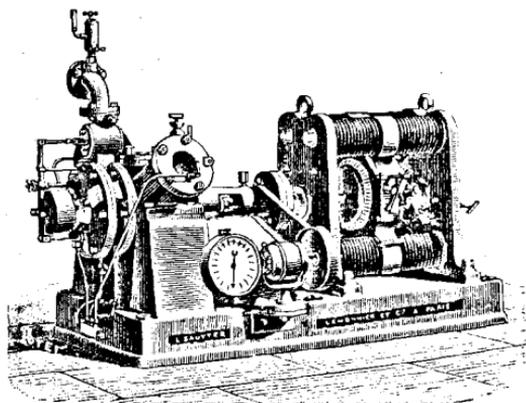


Fig. 81. — Moteur Brotherhood conduisant une machine Gramme type D pour l'éclairage des navires.

nébi; il répond si bien aux nécessités du service | installation analogue, mais plus puissante sur le cui-
que les mêmes constructeurs furent chargés d'une | rassé français l'*Indomptable*. Voici la description

de l'appareil (*Revue industrielle*, n° 20, mai 1887) : — « L'installation est double; chaque groupe doit

donner normalement 150 ampères à 66 volts avec une vitesse ne dépassant pas 350 tours. Les dimensions d'un ensemble (fig. 64) sont : longueur : 3^m,49; largeur : 0^m,89; hauteur : 1^m,60; poids : 3200 kilogrammes. La dynamo est du type *duplex*, c'est-à-dire à deux paires de pôles. Dans l'induit les sections sont coupées deux à deux en quantité. Cet induit se moue dans un double champ magnétique; c'est pourquoi on a donné le nom de *duplex* à la dynamo. Chacun de ces deux champs magnétiques agit sur la portion de la bobine qui le traverse pour y faire naître un courant indépendamment de l'action égale qu'exerce simultanément l'autre champ magnétique. Il en résulte que la dynamo Duplex, comparée au type ordinaire, donne à une vitesse égale un nombre d'ampères double avec la même force électromotrice, ou bien le même nombre d'ampères et la même force électromotrice avec une vitesse angulaire réduite de moitié. Ce résultat est obtenu sans augmentation de poids. Le champ magnétique est créé de la manière la plus rationnelle par une chaîne continue de quatre électro-aimants à Arès en fer doux s'assemblant et se fermant l'un sur l'autre. Ces électro-aimants sont à double enroulement. Le fil fin donne l'excitation en dérivation, et le gros est dans le circuit extérieur. Les collecteurs sont de grand diamètre, et la position des balais se règle avec exactitude et facilité au moyen d'une vis tangente avec contre-ferrou. La dynamo est isolée magnétiquement de son bâti en fonte par deux supports en laiton. Enfin des facilités particulières sont données pour le démontage. Toute la partie supérieure de la dynamo peut s'enlever de manière à permettre en quelques instants le remplacement de l'arbre et de sa bobine. Cette dynamo, à la vitesse de 350 tours, peut débiter, avec une chute constante de potentiel aux bornes de 66 volts, depuis 1 jusqu'à 150 ampères et alimenter depuis 1 jusqu'à 225 lampes de 10 bougies, le travail absorbé variant proportionnellement au nombre de lampes allumées. Le moteur du type pilon est à deux cylindres compound, fonctionnant à volonté, avec échappement à air libre ou à condensation; il a une puissance normale de 20 chevaux effectifs à 3 kilogrammes de pression. Dans le but de réduire le poids au minimum, les cylindres et les bâtis seuls sont en fonte; tous les autres organes ont été construits en bronze et en acier. Le moteur et la dynamo sont montés dans le prolongement l'un de l'autre sur un châssis commun en fer à double T, qui sert en même temps de bâti aux organes de la dynamo. L'accouplement est fait par un manchon flexible à ressorts, entièrement métallique.

La dynamo Duplex et le moteur pilon, tels qu'ils sont représentés fig. 61, constituent une installation type pour les

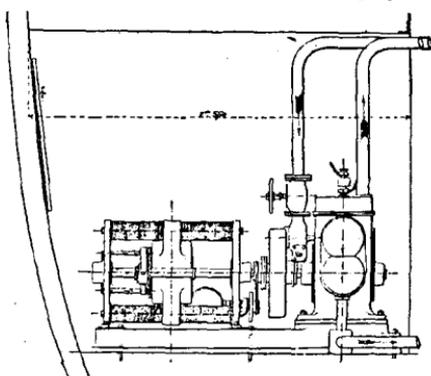


Fig. 61. — Vue en élévation des Moteurs Mogy et des dynamos à bord du paquebot l'Océanien.

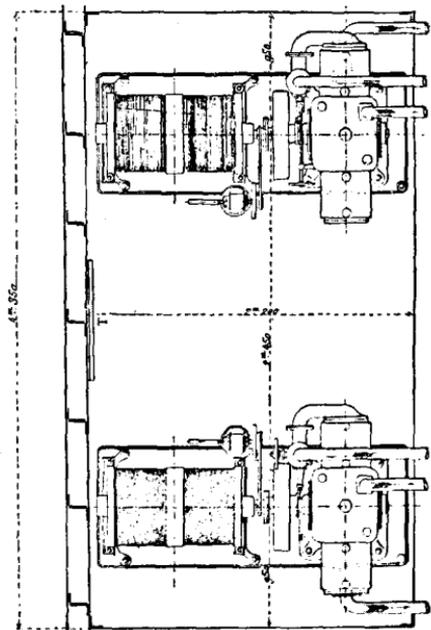


Fig. 62. — Vue en plan de l'installation des Moteurs Mogy et des dynamos à bord du paquebot l'Océanien.

navires de guerre, croiseurs ou cuirassés. On peut alimenter

couramment au moyen de cet ensemble : 225 lampes à INCANDESCENCE de 10 bougies ou 4 PROJECTEURS de 1.600 becs ou encore 8 projecteurs de 500 becs, avec facilité de substituer un projecteur de 1.600 becs à une

soixantaine de lampes de 10 bougies et un projecteur de 500 becs à une trentaine de lampes de 10 bougies.

On a construit des bateaux dont l'hélice est mue par

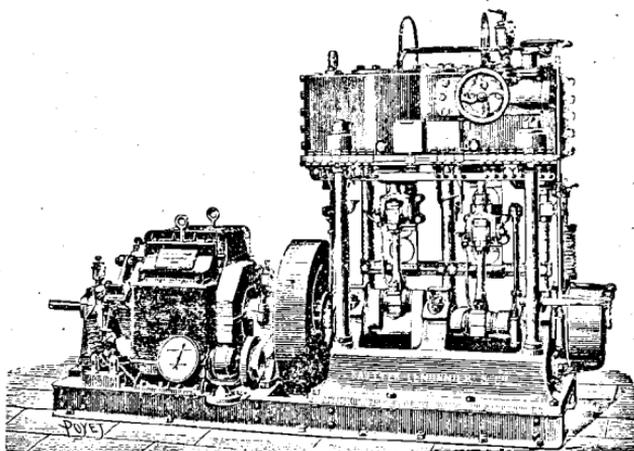


Fig. 64. — Vue d'un Moteur compound, genre pilon, et d'une Dynamo Duplex assemblés sur la même plaque de fondation et reliés directement.

une machine dynamo-électrique de petite dimension. (V. BATEAU ÉLECTRIQUE ET NAVIGATION ÉLECTRIQUE.)

MM. Goolden et Trotter de Londres construisent un modèle spécial de machines dynamo-électriques

en vue de cette application. Ces machines s'attèlent directement aux machines à grande vitesse, et il en a été fourni un assez grand nombre au gouvernement anglais pour l'éclairage des navires et pour les tor-

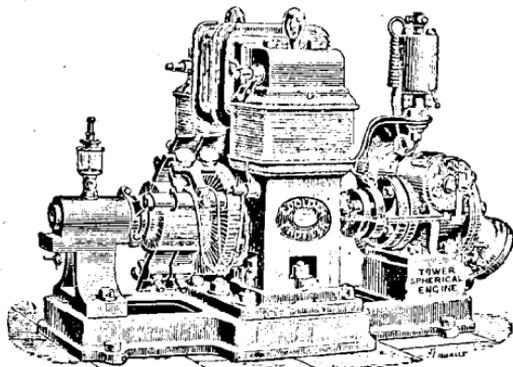


Fig. 65. — Vue d'une Dynamo Goolden-Trotter attelée à une machine Tower, à bord d'un torpilleur.

pilleurs. D'après les renseignements fournis par l'ingénieur électricien, les machines pour torpilleurs sont probablement ce qu'il y a de plus léger et de plus petit, comme combinaison parfaite de la machine et de la dynamo, si on tient compte du rendement qu'on

en tire ; elles ont 0^m,636 de haut, 1^m,08 de long ; 0^m,46 de large. Le poids de la dynamo, de la machine et du bâti prêt à fonctionner est de 407 kilogrammes. La fig. 65 donne la vue d'une de ces dynamos attelée à une machine Tower.

On a même essayé dans la construction des vaisseaux de guerre de faire tirer le canon et conduire le gouvernail par l'électricité, mettant ainsi tout le navire dans la main du capitaine. Ces remarquables essais ne sont pas encore entrés dans la pratique courante; mais peut-être parviendra-t-on à défendre ainsi le vaisseau, à l'aide de la rapide manœuvre électrique, contre la dangereuse attaque de la torpille électrique.

Nous citerons encore une combinaison de moteur à vapeur et de machine dynamo-électrique présentée pour la première fois au public à l'Exposition des inventions de Londres sous la dénomination de *Turbine à vapeur et machine dynamo-électrique*. Cette machine a été utilisée pour l'éclairage électrique des bâtiments de l'Exposition de Newcastle, et elle a été jugée assez pratique pour pouvoir lutter au point de vue de la régularité de la marche, des facilités d'installation et de la dépense de vapeur avec les machines à haute pression actionnant directement des machines électriques.

En outre l'espace occupé par la nouvelle machine et sa dynamo est sensiblement réduit.

Nous donnons (fig. 66) la vue de la machine, dont voici la description, empruntée à la *Revue industrielle* :

« La machine peut alimenter 60 lampes de 16 bougies; à gauche se trouve la machine à vapeur et à droite le moteur électrique; tous deux sont accouplés directement par une simple douille. La vapeur arrive de la chaudière par une tubulure pourvue d'un robinet de mise en train; elle passe au travers de l'orifice ménagé dans la valve d'admission et débouche par un canal circulaire percé de quatre larges orifices équidistants au milieu de la longueur du cylindre. La elle se partage en deux courants qui viennent agir à droite et à gauche sur une série de turbines. Les turbines consistent en une succession de disques montés à égale distance sur un corps cylindrique avec lequel elles forment un seul organe rotatif. Les espaces circulaires ménagés entre

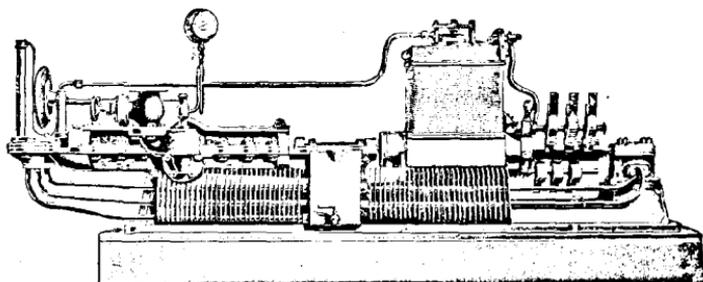


Fig. 66. — Turbine à vapeur et Machine dynamo-électrique

elles sont occupés par des disques semblables, fixés dans la paroi intérieure du cylindre, construit en deux pièces boulonnées à hauteur d'axe. Les couronnes du piston avec leur creux ont un pas d'environ 0^m,006; elles sont découpées de façon à former une roue dont les ailettes sont inclinées d'environ 15°. Les demi-disques fixés au cylindre en deux pièces sont également divisés en ailettes, qui ont sur l'axe longitudinal une obliquité égale mais opposée à celle des premières. Pour les unes et les autres, l'inclinaison s'altère au fur et à mesure que les disques s'éloignent du milieu de l'appareil. Dans le modèle représenté sur la figure, les couronnes sont au nombre de cinquante et chacune d'elles a environ 61 ailettes. Les moteurs les plus puissants ont jusqu'à 60 turbines successives. La vapeur vive agit par réaction avec toute sa puissance sur les deux premières turbines où elle est défilée; puis elle se détend successivement sur les autres où les surfaces actives des ailettes augmentent progressivement par suite de la diminution d'obliquité. Cet accroissement est calculé de façon que la vitesse de la vapeur contienne toujours à la série des lames entre lesquelles elle doit passer. Aux extrémités du cylindre sa force expansive n'est guère plus élevée qu'à l'échappement des machines modernes à grande vitesse. Comme on le voit, cette disposition est remarquablement ingénieuse. Le moteur agit, en réalité, comme une machine où la détente de la vapeur s'effectuerait autant de fois qu'il y a de disques sur le piston. De plus, grâce à la ré-

partition des ailettes en deux groupes à obliquité opposée, on annule les effets de la poussée sur les coussinets. L'axe étant pour ainsi dire noyé dans la vapeur n'a que son poids à porter. La vapeur s'échappe par des ouvertures ménagées aux extrémités du cylindre; ces ouvertures conduisent dans deux canaux recourbés, passant sous le cylindre et se réunissant en leur milieu pour former une conduite accessoire commune. On peut atteindre normalement l'énorme vitesse de 9.000 et même 10.000 tours à la minute, ce qui explique que cette machine puisse développer, malgré ses dimensions restreintes, des puissances relativement très grandes.

« Quant à la machine dynamo-électrique, elle est à courant continu et du genre Siemens; mais elle a reçu de nombreuses modifications en vue de se prêter à une allure de marche extraordinaire, sans craindre les effets nuisibles de la force centrifuge, ni l'élévation de température.

« La bobine est montée sur un arbre creux et formée d'une série de disques en fer isolés par des feuilles de papier; aux extrémités de l'axe se trouvent deux paires d'épaisseurs rondelles isolantes vissées sur l'arbre creux de la bobine. Les fils de l'armature sont gros, courts et peu nombreux, de façon à produire parfois une force électromotrice de 110 volts; la résistance de l'armature est ainsi réduite dans la plus large mesure. Pour empêcher les effets de la force centrifuge, on a entouré la bobine d'un fil d'acier de piano, qui a une résistance très grande à la

traction. Le commutateur est logé sur une douille pouvant s'enlever d'une seule pièce; des frettes en acier maintiennent par encastrement les segments, et l'isolation est réalisée au moyen d'amiante. Les balais sont en lallon argenté. Pour maintenir constante la force électromotrice du courant, M. Parsons a imaginé un RÉGULATEUR MAGNÉTIQUE très curieux (V. RÉGULATEUR) qui agit sur la valve d'admission de vapeur en subissant l'influence de la puissance électrique. Son action est si prompte et si précise que l'on peut éteindre toutes les lampes du circuit, sauf une, puis les rallumer en totalité, sans constater une différence très appréciable dans l'intensité de la lumière.

« Pour combattre l'élévation de la température due à ce que dans les machines électriques il est pratiquement impossible de réduire à zéro la résistance de l'armature et que dans la machine que nous examinons la marche est très rapide, on a assuré une circulation constante d'huile dans l'axe creux de la machine dynamo-électrique, puis dans les coussinets des paliers. Dans son parcours de retour cette huile est continuellement refroidie sans qu'il soit besoin d'armer les tuyaux de circulation des ailettes représentées sur la figure. »

MACHINES MAGNÉTO ET DYNAMO-ÉLECTRIQUES

(THÉORIE)

Dans les machines magnéto et dynamo-électriques, il n'y a pas de quantité déterminée d'électricité élevée d'un certain POTENTIEL à un potentiel supérieur à chaque révolution de la machine, mais production continue d'une force électromotrice. Nous allons tâcher, dans ce qui va suivre, de montrer à quels phénomènes doit être attribuée la production de cette force électromotrice, et comment il nous est possible de les déterminer à notre gré.

Théorie de Maxwell. — Nous allons résumer la théorie de Maxwell d'après son traducteur, M. Seligmann-Lui (1) :

I. Première hypothèse: Constitution des champs magnétiques. — Tout milieu capable de transmettre la force magnétique se compose d'un très grand nombre de petits corps sphériques dits « cellules », susceptibles de tourner, lesquels, sous l'influence de la force magnétique, prennent autour des LIGNES DE FORCE comme axes un mouvement de rotation dont la vitesse et le sens dépendent de l'intensité et du sens du COURANT.

II. Lignes de force. — Il résulte de cette hypothèse que nous devons considérer les lignes de force, dont l'existence nous est révélée par l'examen des FANTÔMES MAGNÉTIQUES, comme des axes autour desquels se produisent des mouvements tourbillonnaires.

Une ligne de force doit donc être caractérisée non seulement par sa figure, mais aussi par l'énergie des mouvements tourbillonnaires qui se produisent autour d'elle, et par le sens de la rotation des molécules qui forment le CHAMP MAGNÉTIQUE.

On peut déduire de la définition des lignes de force les principales propriétés suivantes :

Par suite de la force centrifuge développée par la rotation des molécules, il doit y avoir raréfaction du milieu aux environs de l'axe, et compression vers la périphérie du tourbillon.

Il en résulte qu'il doit y avoir diminution de pres-

(1) Ce résumé est dû à M. Maurice Leblanc, qui l'a fait suivre de considérations permettant de déterminer les éléments d'une machine.

sion du milieu le long de l'axe et accroissement le long de la périphérie du tourbillon, ou tension du milieu suivant les lignes de force et pression dans le milieu suivant le plan équatorial de ces lignes.

Cela explique les phénomènes d'attraction et de répulsion qui se manifestent dans les AIMANTS :

Deux pôles de noms contraires étant mis en présence, les lignes de force vont de l'un à l'autre en affectant certaines formes courbes. La pression du milieu, dans la région comprise entre les deux pôles, se trouve diminuée, d'où l'attraction apparente qui se manifeste.

Si deux pôles de même nom se trouvent en présence, les lignes de force ne vont plus de l'un à l'autre, mais dévient latéralement suivant des directions parallèles, la pression augmente dans la région comprise entre les deux pôles, et ceux-ci paraissent se repousser.

D'après ce qui précède, l'ÉNERGIE POTENTIELLE d'un aimant ne serait en réalité que l'énergie cinétique de ces tourbillons et résiderait dans le milieu interposé.

III. Deuxième hypothèse: Nature de l'électricité. — Il existe des particules sphériques extrêmement petites placées entre les cellules qui, roulant sans glisser sur leurs surfaces, opèrent la transmission d'un tourbillon moléculaire à l'autre sans inversion. Ces particules constituent l'électricité.

Ces particules seraient, comme les cellules, de dimensions tout à fait minimes, par rapport aux molécules de la matière pondérable; elles ne peuvent passer d'une molécule à une autre d'un MÉTATROUPE et peuvent, au contraire, se déplacer dans un conducteur, en éprouvant un certain frottement, lequel donne lieu à une production de chaleur et à une perte d'énergie.

IV. Courant électrique. — Un courant électrique est constitué par le mouvement de translation de ces particules au travers d'un conducteur.

V. Induction électro-magnétique. — Considérons dans un conducteur parcouru par un courant les particules qui forment le fil central : chacune, en frottant contre les cellules qui l'environnent, exerce sur elles un effort tangentiel, et détermine ainsi un tourbillon annulaire, dont l'axe de figure est dirigé suivant la trajectoire des particules. Ce tourbillon réagit à son tour sur les particules du fil consécutif et tend à les chasser dans la direction opposée à celle du fil central. Pour que ces particules puissent rester en repos, nous devons supposer qu'elles sont sollicitées à l'autre extrémité de leur diamètre par un second tourbillon annulaire de même axe et de même vitesse que le premier. Enfin, pour que la particule non seulement ne recule pas, mais encore participe au mouvement de progression du fil central, c'est-à-dire pour qu'il y ait courant, il faut que le second anneau-tourbillon exerce un effort tangentiel plus grand que le premier, c'est-à-dire qu'il tourne plus vite. Et ainsi de suite, jusqu'à la surface du conducteur, nous aurons une série d'anneaux tous ayant même axe de figure et même sens de rotation, mais animés de vitesses progressivement croissantes.

Nous voici parvenus à la surface du fil : par le même mécanisme, le dernier tourbillon réagit sur la première particule du diélectrique, et ainsi sur l'ensemble du milieu, où s'établissent jusqu'à une distance infinie une série de tourbillons annulaires de diamètres de plus en plus grands. Si les cellules présentent une certaine élasticité, et, par suite, ne commentent à obéir à l'impulsion tangentielle qu'après avoir subi une certaine déformation, le mouvement ou l'induction électro-magnétique ne se transmet pas

d'une façon instantanée, mais au contraire avec une vitesse définie dépendant des qualités élastiques du milieu, soit de la densité et de l'élasticité des cellules du diélectrique.

VI. *Force électro-magnétique.* — Considérons un courant rectiligne. Les particules électriques du courant et les cellules qu'elles mettent en mouvement par frottement se meuvent dans le même sens, ce qui définit la rotation du tourbillon.

En chaque point le milieu doit être soumis à une tension suivant les lignes de force magnétique, c'est-à-dire suivant les axes de rotation des tourbillons, et à une pression suivant les directions transversales, c'est-à-dire suivant toute direction comprise dans un plan passant par le fil.

Considérons un CHAMP MAGNÉTIQUE uniforme dont la direction des lignes de force soit donnée par la ligne SN (fig. 57), et plaçons dans ce champ un fil cc' perpendiculairement aux lignes de force. Supposons ce fil traversé par un courant dans le sens de la flèche cc' . Nous pouvons représenter par le cercle A les rotations moléculaires dues au champ magnétique

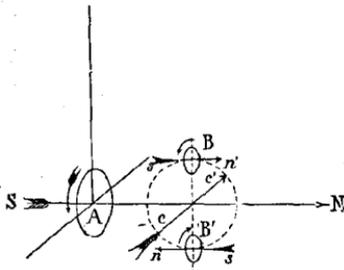


Fig. 57.

et par les cercles B et B' les rotations dues au courant qui traverse le fil cc' .

On voit qu'au-dessus du fil ces rotations sont de même sens et s'ajoutent, et qu'elles sont de sens contraire au-dessous. La vitesse angulaire, et, par suite la pression du milieu doivent donc être moindre au-dessous qu'au-dessus du fil. En conséquence ce dernier doit être sollicité par une attraction apparente vers le bas de la figure.

Preons maintenant deux fils parallèles traversés par des courants de même sens. Les rotations dues à chacun d'eux sont de sens contraires pour l'espace compris entre les fils; elles sont de même sens pour l'espace extérieur. L'effet produit doit donc être le même que celui d'une attraction tendant à rapprocher les fils.

On retrouve ainsi toutes les LOIS D'AMPÈRE.

VII. *Courants induits et Loi de Lenz.* — Un courant commence à passer dans un fil : les particules électriques qui se déplacent impriment aux cellules voisines le mouvement rotatoire; et nous avons vu qu'il se forme ainsi dans le conducteur une série d'anneaux-tourbillons à vitesse progressivement croissante. Une fois parvenu au diélectrique, le mécanisme de transmission se modifie en ce sens que les particules ne peuvent se déplacer que d'une très petite quantité, et qu'elles tournent seulement sur elles-mêmes, ce qui

suffit d'ailleurs pour propager plus loin le mouvement tourbillonnaire.

Supposons que la perturbation atteigne un deuxième conducteur : les particules frottent contre la dernière couche de cellules du diélectrique et en reçoivent une impulsion tangentielle qui, par la nature même du mécanisme de transmission, est en sens inverse du mouvement des particules dans le conducteur; et comme elles sont libres d'obéir à cette impulsion, elles s'ébranlent et le second conducteur est traversé par un courant de sens contraire au courant principal. Mais, bientôt, entre le frottement des cellules du diélectrique contre les particules qui transmettent le mouvement et le frottement des particules dans le conducteur, lequel tend à les arrêter, il s'établit une compensation, dont l'effet est de supprimer le mouvement de translation des particules et de ne leur laisser qu'un mouvement de rotation sur elles-mêmes, qui propage plus loin l'induction électro-magnétique. Le courant induit ne doit donc qu'être passager.

Lorsqu'une force électromotrice est appliquée au fil, le courant n'acquiert son état de régime que quand les divers tourbillons, tant dans le fil que dans le milieu, ont eux-mêmes pris leur état permanent, et pour le leur communiquer il faut dépenser du travail. D'où l'impossibilité qu'une force électromotrice fixe donne lieu instantanément à un courant fini. Il doit donc exister une réaction d'inertie ayant même effet qu'une force électromotrice inverse, et désignée pour cette raison sous le nom de *force électromotrice de SELF-INDUCTION*. Cette réaction est d'autant plus puissante qu'il faut dépenser plus d'énergie pour développer les tourbillons dans le milieu voisin : elle dépend donc de la nature de ce milieu, de sa densité, que Maxwell assimile à la PERMEABILITÉ MAGNÉTIQUE. Ainsi, ce serait en raison de la très grande densité du milieu dans le fer que la self-induction serait si largement accrue par des noyaux de ce métal.

Enfin, si, après que le courant a été établi dans un fil, le circuit vient à être rompu, les choses ne peuvent rentrer au repos qu'après que a'est entièrement dépensée l'énergie accumulée sous forme de force vive dans les tourbillons du diélectrique. Or, dans le milieu qui constitue une série de mécanisme à connexions parfaites le mouvement ne donne lieu à aucun travail : ce ne peut donc être que dans les conducteurs du champ et par le déplacement de leurs particules électriques que se dissipe cette énergie. Mais, si la translation des particules électriques du conducteur a imprimé aux cellules du diélectrique un certain mouvement, il est clair que, par voie de réaction, ce mouvement, continuant, doit entretenir dans le même sens la translation des particules. Le conducteur principal doit donc être traversé par un EXTRA-COURANT, et les conducteurs voisins par des courants induits, tous de même sens que le courant primitif.

Supposons que dans un champ magnétique un conducteur perpendiculaire aux lignes de force se déplace de manière à les couper à angle droit (fig. 58) : les tourbillons qu'il rencontre ainsi se déforment avant de lui livrer passage, se contractent suivant l'équateur, et par suite augmentent de vitesse; au contraire, ceux qu'il laisse derrière lui se dilatent et ralentissent. Les particules électriques du conducteur, saisies entre des tourbillons de vitesses inégales, reçoivent une impulsion tangentielle dans le sens de la rotation la plus rapide, et engendrent un courant. Or, par raison de réaction, ce courant est évidemment de même sens que celui qui, parcourant le fil, accélérerait la rotation des tourbillons en avant et la ralentit.

rait en arrière; qui, par conséquent, déterminerait sur le fil une action électro-magnétique d'avant, en arrière.

Le sens du courant induit est donc tel que son

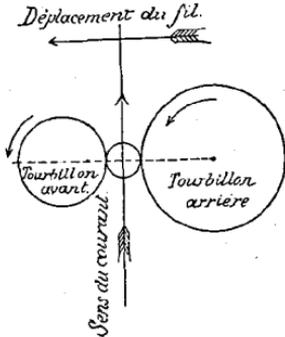


Fig. 68.

effet contrarie le mouvement du conducteur. Ainsi les LOIS DE FARADAY et de LENZ sont expliquées.

Principe du fonctionnement des machines dynamo-électriques. — Nous venons de voir comment, lorsqu'on déplace un conducteur dans un champ magnétique, on donne naissance à un courant. Nous aurions pu montrer, par des considérations analogues à celles que nous avons employées, que le courant développé est maximum lorsque le fil est perpendiculaire aux lignes de force et les coups à angle droit. D'un autre côté la vitesse des mouvements tourbillonnaires est tellement grande par rapport aux vitesses que nous pouvons communiquer à un corps, que l'effet produit par la rencontre d'une ligne de force par un conducteur est en fait indépendant de la vitesse de translation de celui-ci. Tel est le phénomène fondamental qu'on utilise dans les machines dynamo-électriques.

Mais nous avons raisonné dans tout ce qui précède comme si nous déplaçons un conducteur rectiligne dans un champ uniforme indéfini. Or un conducteur est nécessairement fermé sur lui-même, et un champ est limité. Nous allons rechercher ce qui en résulte.

1^o Le champ magnétique ne varie pas en fonction du temps, et le circuit ne peut être brisé.

Dans ce cas, une ligne de force peut être assimilée à une courbe fixe dans l'espace émergeant du pôle positif du système magnétique qui lui a donné naissance et aboutissant au pôle négatif (fig. 69). Cette courbe doit être considérée comme fermée sur elle-même, à l'intérieur de ce système.

Le conducteur doit aussi être considéré comme une boucle fermée à indéformable, mais mobile dans l'espace. Il suffit de considérer la figure pour voir que toute branche de cette courbe qui aura coupé une ligne de force et aura ainsi pénétré à l'intérieur de la boucle formée par elle devra la couper une seconde fois pour en sortir. Autrement dit, toute ligne de force franchie dans un sens sera nécessairement une seconde fois en sens contraire.

Or, si on se rapporte aux considérations, que nous avons exposées plus haut pour expliquer le mécanisme de la production du courant, on verra que les deux

forces électromotrices passagères, développées lors de chaque coupure de la ligne de force, seront de sens contraires.

Ce cas correspond à l'emploi de BOBINES recou-

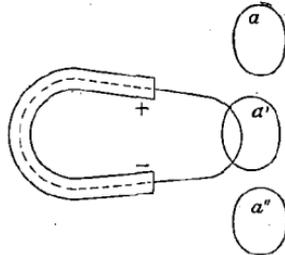


Fig. 69.

vertes de plusieurs couches de fil se déplaçant dans un champ magnétique permanent. C'est le cas ordinaire de la pratique. On voit que chaque bobine devra être parcourue par des courants alternatifs. Ces courants peuvent être employés tels quels, ou bien redressés par des COMMUTATEURS spéciaux.

2^o Le champ magnétique ne varie pas en fonction du temps mais le circuit peut être déformé.

On peut alors faire en sorte que l'une des branches de la boucle formée par le conducteur soit fixe, mais s'épanouisse à ses deux extrémités, de telle manière que la branche mobile puisse se déplacer d'une façon continue en reliant toujours ses deux extrémités et revenir, au bout d'un certain temps, à sa position primitive.

Une disposition de ce genre est représentée fig. 70. *aaa* est une ligne de force; *omb* la branche fixe d'un conducteur. L'extrémité extérieure *b* de cette branche est supposée aboutir à

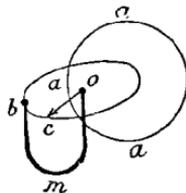


Fig. 70.

une circonférence métallique ayant pour centre l'autre extrémité *o* de la branche.

oc représente la branche mobile. Une de ses extrémités est toujours en contact avec le centre *o*, l'autre glisse sur la circonférence.

On voit que si *oc* tourne d'une manière continue autour du point *o*, cette branche coupera une seule fois à chaque révolution la ligne de force, et toujours dans le même sens. Il en résulte que la force électromotrice développée sera toujours de même sens.

On a construit des machines, dites *unipolaires*, basées sur ce principe. Comme on le voit d'après ce qui précède, ces machines ne peuvent comporter de bobines formées de plusieurs couches de fils superposées. Cela les rend peu propres à développer des

forces électromotrices considérables; mais elles conviennent parfaitement à la production des courants de quantité nécessaires pour la GALVANOPLASTIE.

3^e Le champ magnétique peut varier en fonction du temps.

On ne trouverait aucune machine moderne rentrant dans cette catégorie. Il faudrait revenir aux anciens ÉLECTROMOTEURS de Froment, dont le type est abandonné.

Problèmes communs aux machines dynamo-électriques. — Mais, quel que soit son type, une machine peut toujours être regardée comme composée d'une série de fils auxquels on communique un mouvement de translation dans un CHAMP MAGNÉTIQUE de telle façon que la direction de chaque fil soit à chaque instant normale à celle de son propre déplacement et à celle des LIGNES DE FORCE.

Les divers conducteurs qui traversent le champ magnétique doivent être reliés électriquement. Ces fils de connexion étant inutilisés pour la production de la force électromotrice, nous devons les distinguer des premiers.

Désignons par L la longueur totale des fils utiles en mètres.

- » » l la longueur en mètres des fils de connexion enroulés sur une machine.
- » » H l'intensité moyenne du champ magnétique en UNITÉS CGS.
- » » v la vitesse moyenne de translation des fils utiles en mètres par seconde.
- » » E la force électromotrice développée par la machine en VOLTS.

Nous aurons la relation (V. AIMANT)

$$E = \frac{1}{10000} L \cdot v \cdot H.$$

On voit d'après cette équation qu'il faut faire en sorte que pour une vitesse v , donnée en général par des considérations étrangères à celles dont nous nous préoccupons, il soit aussi grand que possible, de manière que, pour une valeur donnée de E , le terme L dont est fonction le prix de la machine, soit aussi petit que possible.

Nous aurons donc à rechercher en premier lieu les moyens d'obtenir un champ magnétique intense avec une faible dépense de matériaux. Ensuite nous verrons quels sont les procédés d'enroulement qui, dans chaque cas, permettront d'avoir la plus petite proportion de fil de connexion pour une longueur donnée de fil utile.

Étude spéciale des champs magnétiques. — Ce problème, qui malheureusement est loin d'être résolu à l'heure actuelle, peut être énoncé ainsi :

Produire un champ magnétique d'intensité uniforme déterminée dans l'espace compris entre deux surfaces de révolution ayant même axe, de telle manière que les lignes de force soient toutes parallèles à cet axe, ou tout au moins suivant les rayons communs de ces surfaces, dans l'intervalle ménagé entre elles.

Nous nous proposons de résumer, dans ce qui suit, les principales notions que l'on possède sur ce sujet.

Propriétés caractéristiques des lignes de force. — Nous avons vu que suivant chaque ligne de force il doit y avoir une tension développée suivant l'axe de la ligne, et une pression déterminée dans toute direction normale à cet axe.

Il en résulte que :

1^o Un faisceau de lignes de force tendra toujours à s'épanouir;

2^o Chaque ligne de force tendra à se fermer sur elle-même, de telle façon que sa figure géométrique ait la moins grande longueur possible.

On peut donc se représenter ces lignes, avec Bréguet, comme des fils élastiques fermés sur eux-mêmes et doués de la propriété de se repousser les uns les autres.

Influence du milieu où se développent les lignes de force. — Le milieu dans lequel se manifestent les phénomènes électro-magnétiques n'est autre que l'éther lumineux (V. LUMIÈRE, *Théorie électro-magnétique*). Or, l'étude de la POLARISATION a conduit à admettre que la densité et l'élasticité de ce milieu varient avec la nature des corps matériels qu'il remplit. Il est donc naturel de penser que :

1^o Le nombre maximum de lignes de force que l'on pourra développer dans un volume déterminé variera avec la nature du corps matériel qui occupera ce volume;

2^o La tension développée suivant l'axe de chaque ligne et la pression déterminée normalement à cet axe varieront aussi.

C'est ce qu'une expérience élémentaire démontre. Prenons une bobine cylindrique et faisons passer un courant constant dans cette bobine. Nous pourrions connaître le flux de force total qui en émane en mesurant, par exemple, l'intensité de l'extra-courant de rupture fourni par cette bobine.

Répetons la même expérience après avoir introduit un noyau de fer dans la même bobine, nous constaterons que l'intensité de cet extra-courant de rupture est incomparablement plus grande.

Cela fait, relevons, en saupoudrant avec de la limaille de fer, la configuration du champ magnétique dans l'un et l'autre cas. nous constaterons que non seulement, dans le second, le champ est beaucoup plus nourri, mais que les lignes de force ne sont plus distribuées de la même manière, et qu'elles tendent à se grouper autour de l'axe du noyau de fer.

Il résulte de là :

1^o Qu'une même force magnétisante développera un plus grand nombre de lignes de force dans le fer que dans un même volume d'air;

2^o Que la tension suivant l'axe et la pression normalement à cet axe sont moins grandes dans le fer que dans l'air.

Influence de la force magnétisante. — Augmentons progressivement l'intensité du courant qui parcourt notre bobine, et mesurons à chaque instant l'intensité du champ magnétique développé.

Si la bobine n'a pas de noyau, nous trouverons que l'intensité de ce champ est très sensiblement proportionnelle à celle du courant, et cela jusqu'à ce que nous arrivions à brûler notre bobine.

Au contraire, si la bobine est munie d'un noyau de fer, l'intensité du champ magnétique prendra très rapidement des valeurs supérieures à la limite atteinte dans le cas précédent. Mais ces valeurs ne croîtront plus proportionnellement à l'intensité du courant excitateur. Elles passeront tendre vers une certaine limite, et l'on dit alors que le fer est saturé.

Il est peu probable que l'intensité d'un champ magnétique développé par un système ne contenant pas de fer puisse toujours demeurer proportionnelle à l'intensité du courant excitateur. Néanmoins, on peut admettre cette proportionnalité dans tous les cas de la pratique.

Susceptibilité magnétique. — Si nous plaçons dans un champ magnétique de valeur i un corps quel-

combre, nous déterminerons la séparation d'un certain nombre de masses magnétiques proportionnel à l'intensité de ce champ. En désignant par I la somme de ces masses devenues agissantes, nous aurons

$$I = mI.$$

m étant le coefficient de SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE.

Perméabilité magnétique. — D'après le théorème de Green (v. MAGNÉTISME), le nombre de lignes de force qui traversent le corps sera égal au nombre de lignes de force qui traversaient l'espace qu'il occupe dans l'air avant qu'il fût introduit, augmenté du produit par le nombre k de la somme des masses agissantes développées dans le corps.

Si on désigne par K le rapport du nombre de lignes de force qui traversent un corps plongé dans un champ magnétique au nombre des lignes de force qui traversaient le même volume supposé occupé par de l'air, on a la relation

$$K = 1 + 4\pi m.$$

Le rapport K est appelé *coefficient de perméabilité magnétique*.

Méthode pour soumettre ces phénomènes au calcul. — Au lieu de partir de la notion que nous avons acquise, d'après Maxwell, du phénomène qui constitue la *LIÈNE* DE FORCE, revenons à la notion primitive des forces centrales, et considérons une ligne de force comme une orthogonale à des surfaces de niveau.

Tube de force. — Sur une surface de niveau, découpons un élément de surface, et menons toutes les lignes de force qui passent par les divers points de son contour. Nous appellerons *tube de force* le canal orthogonal limité par ces lignes.

Flux de force. — On appelle *flux de force* le produit de l'élément de surface, découpé dans une surface quelconque par un tube de force, par la composante normale de la force le long de cet élément.

On démontre que :

1° Un tube de force doit être considéré comme fermé sur lui-même, sa section pouvant varier tout le long de son étendue;

2° Le flux de force est constant en tous les points d'un même tube.

Il résulte de là que les choses se passent comme si chaque tube était rempli d'un fluide animé d'un mouvement permanent.

Étant donnée cette manière de concevoir les phénomènes, le choix de l'expression de *perméabilité magnétique* fait par W. Thompson s'explique aisément.

Voici, d'ailleurs, comment il le justifie (citation faite par Mascart et Joubert).

« Le pouvoir conducteur d'un corps solide pour la chaleur, ou, plus brièvement, sa conductibilité calorifique à son analogue : en électricité statique, dans le *pouvoir inducteur spécifique* d'un diélectrique; en magnétisme, dans ce que Faraday appelait le *pouvoir conducteur du milieu pour les lignes de force*, et qu'on désigne souvent par le nom de *coefficient d'induction magnétique*; en hydrodynamique, dans la propriété spéciale que possèdent les corps poreux et qu'on appelle *perméabilité*, qui est mesurée, toutes choses égales d'ailleurs, par le flux de liquide passant au travers de l'unité de surface. Le mot de *perméabilité* semble s'adapter également à la qualité qu'on envisage dans les différents cas suivants : on peut employer l'expression de *perméabilité calorifique* comme synonyme de conductibilité; de *perméabilité pour les lignes de forces*, comme synonyme du pouvoir induc-

teur spécifique; de *perméabilité magnétique*, comme synonyme de pouvoir conducteur pour les lignes de force. »

Quant à la notion de *susceptibilité magnétique*, nous avons vu qu'elle est étroitement liée à celle de perméabilité, puisque, dans chaque cas, les coefficients de susceptibilité et de perméabilité sont liés par une relation linéaire.

En assimilant le flux de force à l'écoulement d'un fluide, l'intensité du flux total de force dépendra à la fois de la force inductive et de la perméabilité du milieu.

La force inductive peut être due, soit à la présence de couches de magnétisme libre, ce qui est le cas des machines magnéto-électriques, soit au passage d'un courant électrique au travers d'une bobine, ce qui est le cas des machines dynamo-électriques.

NOTA. — Le flux de force des appareils industriels se désigne généralement, dans les calculs, par la lettre Φ et s'exprime en unités CGS par un nombre très grand, puisqu'il est le produit de l'induction spécifique par une surface exprimée en centimètres carrés. Il est rarement inférieur à 1.000.000 d'unités CGS dans les petites machines, et dépasse souvent 1.000.000 et 10.000.000 dans les plus grandes. — L'intensité du champ magnétique est plus petite dans l'inducteur que dans l'induit, et varie entre 1.000 et 5.000 unités CGS. (Hospitalier.)

De la détermination des éléments d'une machine électrique. — C'est là le problème le plus important que l'on ait à résoudre dans l'industrie des machines électriques. Il consiste à déterminer *a priori* les dimensions que l'on doit donner aux divers éléments d'une machine pour qu'elle puisse, dans des conditions données, développer un courant de force électromotrice et d'intensité également donnés.

Il n'y a que peu de temps que l'on possède des règles à ce sujet. Néanmoins, grâce aux travaux de nombreux savants, et notamment de MM. Cabanellas, Hopkinson et Kopp, on peut, dès à présent, déterminer *a priori* la caractéristique d'une machine quelconque, c'est-à-dire résoudre le problème avec une approximation plus grande que celle avec laquelle on calculerait la puissance d'une machine à vapeur.

Nous recommandons notamment la lecture du mémoire de MM. Hopkinson, publié *in extenso* dans le tome XXIII de la *Lumière électrique*, et que nous ne saurions reproduire, non plus que ceux des auteurs précités, à cause de leur étendue. Ce que nous allons dire suffira, nous l'espérons, pour faire comprendre l'esprit général de ces travaux et permettre d'en tirer parti.

Le problème industriel revient à déterminer les éléments d'une machine capable de développer un certain nombre de *WATTS* : car, une carcasse de machine étant donnée, on pourra, en faisant varier le diamètre du fil enroulé, toutes choses égales d'ailleurs, lui faire produire une force électromotrice plus ou moins grande.

Ce problème est complètement indéterminé, de même que celui qui consiste à établir une machine à vapeur de puissance donnée. Mais, le plus souvent, les conditions dans lesquelles doit fonctionner la machine lèvent cette indétermination. Ainsi, on pourra se fixer la vitesse de rotation, l'encombrement ou le poids du système, les positions relatives des divers éléments de la machine, etc., de même que dans l'étude d'une machine à vapeur on doit se donner, le plus souvent *a priori*, la vitesse de rotation, l'encombrement ou le poids, et la position relative de ses différents organes.

Pour mieux faire comprendre l'esprit général de la méthode, et en même temps bien marquer le rôle des

diverses parties d'une machine dynamo-électrique, nous allons rapprocher les uns des autres les divers éléments à considérer dans l'étude d'une machine à vapeur ou d'une machine dynamo-électrique.

Dans une machine électrique	Dans une machine à vapeur
Le travail électrique produit est proportionnel (toutes choses égales d'ailleurs) :	Le travail mécanique produit est proportionnel (toutes choses égales d'ailleurs) :
1 ^o A la vitesse de rotation ;	1 ^o A la vitesse de rotation ;
2 ^o A la masse de cuivre utile de l'induit ;	2 ^o A la capacité du cylindre ;
3 ^o A la quantité d'électricité qu'on laisse circuler pendant l'unité de temps ;	3 ^o Au degré d'admission, c'est-à-dire au poids de vapeur qu'on laisse affluer dans la machine dans l'unité de temps ;
4 ^o L'intensité du champ magnétique dans lequel se meut l'induit.	4 ^o Il est fonction de la pression de la vapeur admise dans le cylindre.

Nous voyons que :

L'induit est à une machine dynamo-électrique ce qu'est le cylindre à une machine à vapeur, et que l'intensité du champ magnétique peut être assimilée au timbre d'une machine à vapeur.

L'organe principal d'une machine à vapeur est le cylindre, l'organe principal d'une machine dynamo-électrique est l'induit.

La puissance d'un cylindre à vapeur dépend de deux éléments : son volume et la pression maxima qu'il est capable de supporter. La puissance de l'induit d'une machine dynamo-électrique dépend de deux éléments : la masse utile de son conducteur et l'intensité maxima du champ magnétique dans lequel il peut se mouvoir.

Détermination de l'induit. — Il y a deux cas à considérer :

1^{er} Cas. — Le conducteur sera enroulé autour d'une masse magnétique qui contraindra les lignes de force pénétrant dans l'induit à n'en sortir qu'après avoir traversé le plan de commutation, comme cela a lieu dans les machines à enroulement Gramme ou Siemens.

2^e Cas. — Le conducteur se déplacera entre deux pôles fixes de noms contraires, comme cela a lieu dans les machines dont les induits sont dépourvus de fer, et dans lesquelles les lignes de force traversent l'induit sans franchir le plan de commutation.

Occupons-nous d'abord du premier genre de machines.

1^{er} Cas. a) Anneau Gramme. — La seule portion de fil utilisée étant la portion comprise entre l'anneau de fer et les pièces polaires des inducteurs, il est évident qu'il y a, à ce point de vue, intérêt à rendre l'anneau très mince et à l'allonger autant que possible parallèlement à l'axe.

D'un autre côté, si l'on cherche à produire un nombre de watts déterminé il faudra employer d'autant moins de cuivre, et par suite donner à la machine une résistance d'autant plus faible qu'à chaque révolution un plus grand nombre de lignes de force seront coupées par le conducteur de l'induit.

Nous savons que le fer est saturé lorsqu'il passe au travers de lui environ 20.000 lignes de force par chaque centimètre carré de section. Il faut donc augmenter autant que possible cette section. Si on le faisait en accroissant le diamètre de l'anneau, on

MACHINE ÉLECTRIQUE (CALCUL D'UNE)

diminuerait sa perméabilité, aussi convient-il de lui donner le plus petit diamètre possible et d'allonger sa dimension parallèle à l'axe de la machine.

Au point de vue électrique, un induit sera d'autant meilleur que le couple développé sur son axe pour une même dépense d'énergie dans le conducteur sera plus grand, et que la différence de potentiels magnétiques qu'il faudra développer entre les surfaces polaires au milieu desquelles il tournera devra être plus faible pour saturer son noyau de fer.

Ce couple est proportionnel au nombre de lignes de force total qui traversent l'anneau. Il faut donc étaler le cuivre en couches très minces à la surface de l'anneau. Le couple est aussi proportionnel au diamètre de l'anneau. Or, supposons que, ayant un induit déterminé, nous réduisions toutes ses dimensions diamétrales de moitié, et multiplions celles qui sont parallèles à l'axe par 4.

Le poids total de matière (fer et cuivre) entrant dans la constitution de cet anneau n'aura pas changé, mais sa section droite aura doublé. La masse de cuivre sera traversée par un nombre de lignes de force double, donc le couple ne sera pas changé quoique le diamètre ait été réduit de moitié.

Mais la proportion du fil utile au fil total aura augmenté et, par suite de la diminution de diamètre, les lignes de force éprouveront moins de résistance à traverser l'anneau. Le potentiel magnétique nécessaire pour cela sera d'autant plus faible.

En résumé, il convient de faire des anneaux minces, recouverts d'une couche de fil d'épaisseur aussi réduite que possible et très longs. Seules, les considérations d'ordre mécanique peuvent indiquer le point où il convient de s'arrêter dans cette voie.

Exemple. — On se propose de déterminer les éléments d'un induit capable de développer 1.500 watts, c'est-à-dire d'absorber 10 chevaux, en tournant à la vitesse de 800 tours à la minute, dont la résistance intérieure ne soit pas supérieure à $\frac{1}{40}$ d'ohm, et tel que la densité du courant, c'est-à-dire le rapport de l'intensité du courant à la section du conducteur qu'il parcourt ne dépasse pas 1 ampère par millimètre carré.

Cherchons d'abord le volume de cuivre à répartir sur cet induit.

Au point de vue des phénomènes calorifiques, on peut assimiler le conducteur enroulé à une seule couche continue de métal dans laquelle se dégagerait pendant l'unité de temps la même quantité de chaleur.

La résistance de l'induit étant de $\frac{1}{40}$ d'ohm, il s'y dégagera, pendant l'unité de temps lorsqu'il sera parcouru par un courant de 75 ampères, une quantité de chaleur égale à

$$75^2 \times \frac{1}{40} \times \frac{1}{9,81} \times \frac{1}{424} = 0,0311 \text{ calorie.}$$

Considérons maintenant 1 centimètre cube de cuivre parcouru par un courant de 100 ampères, soit par un courant de 1 ampère par millimètre carré de section, la quantité de chaleur dégagée par seconde dans cette masse sera, en supposant la résistance spécifique du cuivre de 1,65 micronhm :

$$100^2 \times \frac{1,65}{1000000} \times \frac{1}{9,81} \times \frac{1}{424} = 0,0000329 \text{ calorie.}$$

Le volume de cuivre à enrouler sur l'induit sera de

$$\frac{0,0311}{0,0000329} = 948 \text{ litres 5.}$$

Cette masse doit faire 800 révolutions sur elle-même à la minute, à chaque tour elle absorbera

$$750 \times \frac{800}{60} = 50,25 \text{ kilogrammètres.}$$

Le couple développé sera égal à celui que développerait un poids de 50,25 kilogrammes appliqué tangentiellement à une circonférence de 1 mètre de longueur.

Or, nous savons qu'un conducteur long de 0^m,01 parcouru par un courant d'intensité égale à l'unité d'intensité CGS et placé dans un champ magnétique d'intensité égale à l'unité CGS d'intensité magnétique, c'est-à-dire dans un champ où il passe une ligne de force par centimètre carré d'une section faite normalement à la direction des lignes de force, est sollicité par une force égale à une dyne, s'il est maintenu perpendiculairement aux lignes de force.

$$\text{Or, une dyne vaut } \frac{1 \text{ gramme}}{981}.$$

$$\text{Un ampère} = 10 \text{ unité d'intensité CGS.}$$

L'effort tangentiel développé sur un centimètre cube de cuivre placé dans un champ de n unités magnétiques et parcouru par un courant de 100 ampères sera

$$\frac{10 n}{981} \text{ grammes.}$$

Si l'on suppose que le tiers seulement du conducteur soit soumis à l'action du champ, le reste servant seulement à contourner l'anneau, et si l'on désigne par l la longueur de la circonférence extérieure de l'anneau métallique exprimée en mètres, la grandeur du couple développé sur l'induit sera

$$\frac{8500}{3} \times \frac{10 n}{981} \times l.$$

Soit en nombre rond

$$29 \times n \text{ grammes,}$$

l'effort résistant étant toujours supposé appliqué tangentiellement à une circonférence longue de 1 mètre.

Nous arrivons ainsi à la relation suivante entre n et l

$$29 \times n l = 56250 \quad (1)$$

ou $n l = 1939.$

Si l'on suppose l'anneau saturé, il passera environ 20.000 lignes de force dans chaque centimètre carré de la section faite en lui par le plan de commutation. Or, le nombre de lignes de force total qui traverseront cette section doit être de $\frac{1}{2} \times \frac{8500}{3} \times n$, puisque chaque ligne de force traverse deux fois le conducteur et que ces lignes se séparent en deux groupes qui passent chacun par l'une des sections diamétralement opposées.

Donc, si on appelle e la section de l'anneau de fer en centimètres carrés, on aura

$$20000 e = \frac{1}{2} \times \frac{8500}{3} \times n,$$

d'où

$$e = 0,0354 n. \quad (2)$$

Nous pouvons éliminer n entre les relations (1) et (2), et il vient

$$e l = 55,64$$

en mesurant l en mètres et e en centimètres carrés.

Le problème dans les conditions que nous nous sommes posées est indéterminé, mais généralement cette indétermination sera levée par des considérations d'ordre mécanique.

Supposons, par exemple, que l'anneau de fer ne puisse avoir plus de 0^m,40 de développement et que pour faciliter l'enroulement il faille que son diamètre intérieur soit les deux tiers de son diamètre extérieur.

Soit D ce diamètre extérieur exprimé en centimètres, on aura

$$\frac{1}{2} \left(D - \frac{2}{3} D \right) \times 40 = e.$$

$$\text{D'autre part, on a } l = \frac{\pi D}{100}$$

et

$$e l = 55,64.$$

On en tire successivement

$$e l = 0,109 D^2 = 55,64,$$

d'où

$$D = 18,5.$$

Le diamètre intérieur sera de 12,32 centimètres. Enfin l'épaisseur de la couche de cuivre enroulé sera de 0^m,0204.

Remarque. — Nous avons supposé *a priori* que la proportion du fil utile au fil total serait de un tiers. Nous sommes arrivés à constituer un anneau dans lequel cette proportion est beaucoup plus grande, ce qui est une condition avantageuse.

D'un autre côté, nous avons supposé que le champ magnétique développé dans l'anneau serait complètement utilisé. Mais cette condition ne se réalise pas, à cause de l'influence des propres spires de l'induit. Nous verrons plus loin comment il est possible de tenir compte de ce phénomène.

b) Tambour Siemens. — Les mêmes raisonnements sont ici immédiatement applicables, à la condition de modifier la proportion de fil utilisé au fil total qui est plus considérable dans les machines à enroulement Siemens que dans celles à anneau Gramme. D'un autre côté, le diamètre intérieur de l'anneau se réduit à celui de l'arbre de la machine.

2^e Cas. — Quant au deuxième genre de machines, dans lequel les points où les lignes de force coupent le plan de commutation se trouvent à l'intérieur des inducteurs fixes, celles-ci n'ayant plus à se concentrer dans des masses magnétiques de section beaucoup plus faible que la surface de pénétration (ce qui arrive dans toutes les machines du premier genre), il est possible de communiquer au champ une intensité égale à celle qu'il peut acquérir dans le fer saturé. On peut donc réaliser avec de pareilles machines des champs magnétiques dont l'intensité atteint 20.000 unités.

Jusqu'à présent on a construit peu de machines de ce genre. Nous pourrions citer néanmoins celle de M. Elphiston Vincent. Si ces machines ne sont pas plus répandues, c'est qu'il est difficile de soutenir un paquet de conducteurs au moyen d'un système non métallique sans augmenter considérablement l'exercice, si bien qu'il n'y a plus de bénéfice à employer cette disposition.

M. Cabanellas paraît avoir tourné la difficulté en proposant de remplacer le cuivre universellement employé, pour constituer le conducteur de l'induit, par le fer. En effet le fer, alors que l'intensité du champ atteint 48.000 unités, c'est-à-dire qu'il est très près de la saturation, est encore cinquante fois

plus perméable que le cuivre, tandis qu'il n'est que sept fois plus résistant que ce dernier.

Il en résulte que, à résistance égale, un induit qui ne contiendrait pas de noyau servant d'ÉCRAN MAGNÉTIQUE, mais dans lequel le conducteur enroulé serait en fer, aurait une perméabilité environ sept fois plus grande si l'espace occupé par l'air ou les masses non métalliques et nécessaire au jeu était négligeable par rapport à celui occupé par le conducteur.

Nous croyons savoir qu'une parcellle machine sera bientôt réalisée.

Nous venons de voir comment on pourrait déterminer les dimensions de l'induit d'une machine électromotrice. Reste à rechercher les moyens qui permettront de développer le champ magnétique dans lequel cet induit doit se mouvoir.

Détermination de l'inducteur. — Il y a encore deux cas à considérer, suivant que la machine

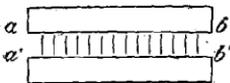


Fig. 71.

est à enroulement Gramme ou Siemens, ou qu'elle appartient à la deuxième classe.

Nous examinerons seulement le premier cas, celui de l'enroulement Gramme ou Siemens. Ce problème consiste à déterminer entre les deux pièces polaires une différence de potentiels magnétiques assez considérable pour que le flux d'induction qui traversera l'anneau soit assez fort pour le saturer à l'endroit de sa section par le plan de commutation.

Ce flux d'induction (V. MAGNÉTISME) devra être égal à la section de cet anneau multipliée par le nombre 20.000.

Si l'on considère deux surfaces égales et paral-

èles ab , $a'b'$ (fig. 71) le long de chacune desquelles le potentiel magnétique est maintenu constant, mais varie d'une unité lorsqu'on passe d'une surface à l'autre, on trouve que :

1° Lorsque ces deux surfaces seront distantes de $0^m,01$, si l'espace intermédiaire est rempli par de l'air ou du cuivre le flux d'induction, c'est-à-dire le nombre de lignes de force qui vont d'une surface à l'autre, sera égal à la grandeur de chacune d'elles exprimée en centimètres carrés.

2° Si, maintenant constante la différence de potentiels magnétiques ΔH , on fait varier la distance des surfaces, la grandeur du flux d'induction sera inversement proportionnelle à cette distance. (V. MAGNÉTISME.)

Désignons par S la grandeur de chacune de ces surfaces exprimées en centimètres carrés, et par d leur distance en centimètres. Lorsque l'espace compris entre elles ne renfermera pas de substance magnétique, le flux d'induction total I qui passera de l'une à l'autre aura pour expression

$$I = \frac{S}{d} (\Delta H),$$

d'où

$$\Delta H = \frac{d \times I}{S}.$$

Si l'espace compris entre les surfaces ab et $a'b'$ est occupé, au contraire, par une substance magnétique telle que le fer, le flux total d'induction sera en même temps proportionnel à un certain coefficient μ qui représente la perméabilité magnétique du fer.

Mais ce coefficient μ n'est pas constant, il est fonction de I et diminue quand I augmente. Pour se rendre compte de ses variations, on fait croître progressivement la différence ΔH , et on mesure à chaque instant la grandeur de I correspondant. Voici, par exemple, des résultats obtenus par M. Hopkinson sur un échallion de fer.

On avait $S = 1.120$ centimètres carrés, $d = 69$.

VALEURS de ΔH en unités C G S.	VALEURS observées de I en unités C G S.	VALEURS de $\frac{I}{S}$ (intensité du champ) en unités C G S.	VALEURS correspondantes de μ .
0	0	0	580
500	65×10^6	5.785	568
1.000	116×10^6	10.324	504
2.000	128×10^6	11.392	279
3.000	135×10^6	12.015	196
4.000	139×10^6	12.371	152
5.000	143×10^6	12.727	121
6.000	146×10^6	12.994	106
7.000	148×10^6	13.172	92
8.000	150×10^6	13.350	82
9.000	152×10^6	13.528	73
10.000	154×10^6	13.706	61
11.000	155×10^6	13.793	56
12.000	156×10^6	13.884	51

Lorsque l'intensité du champ magnétique dépasse 14.000 unités, la courbe qui représente ses variations en fonction de celles de la différence de potentiels magnétiques n'a plus qu'une courbure très faible.

Lorsque on a $\frac{I}{S} = 18.000$, on a sensiblement $\mu = 50$.

A partir de cette valeur de $\frac{I}{S}$, le coefficient μ décroît

très rapidement, et la courbe représentative des variations de l'intensité du champ magnétique décrite ci-dessus paraît être asymptotique à une horizontale ayant pour ordonnée 20.000.

Avec des échantillons de fer extra-doux, l'ordonnée de cette asymptote peut atteindre 25.000.

D'un autre côté, tant que l'intensité du champ demeure faible, entre 0 et 500 unités, par exemple, le coefficient μ demeure sensiblement constant et égal à 570.

Application des données précédentes. — Proposons-nous d'appliquer les résultats expérimentaux que nous venons de signaler à la détermination de la différence de potentiels magnétiques qu'il faut établir entre les deux pièces polaires entourant un inducteur donné pour saturer son anneau.

Pour éviter la production d'ÉTINCELLES aux balais, il convient que l'induction soit nulle aux environs du plan de commutation; il faut donc que les pièces polaires de signes contraires ne se rapprochent pas l'une de l'autre. Il résulte des expériences de

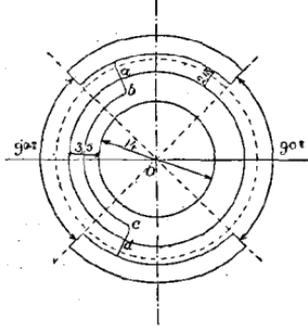


Fig. 72.

M. Marcel Deprez qu'il convient de faire en sorte que chacune d'elles embrasse le quart de la circonférence de l'induit.

Supposons que l'on adopte cette proportion et que le jeu ménagé entre les pièces polaires et la surface extérieure de l'induit soit de $0^m,005$.

Considérons une portion de volume de l'induit comprise entre deux plans parallèles normaux à l'axe et distants chacun de $0^m,01$. Nous avons rapporté sur la *Fig. 72* les divers éléments numériques de l'induit considéré.

Supposons, ce qui a lieu avec les bons fers très doux, que le coefficient de PERMÉABILITÉ μ correspondant à une intensité de champ magnétique de 20.000 unités, soit encore de 40. Nous pourrions assimiler, sans erreur sensible, le chemin parcouru par chaque ligne de force dans l'intérieur de l'induit à celui représenté par la ligne *abcd*, les points *a* et *d*, comprenant entre eux un angle de 135° .

Considérons un canal ayant 1 centimètre carré de section et pour axe cette ligne *abcd*. Il aura une longueur totale de

$$\frac{91 + 14}{2} \times \pi \times \frac{135}{360} + 3,5 = 84,110 \text{ cm.}$$

Comme il est parcouru par 20.000 lignes de force, et que dans ce cas la perméabilité du fer de l'induit est supposée de 40, il devra exister entre les points *a* et *d* une différence de potentiels magnétiques égale à

$$\frac{84,110 \times 20.000}{40} = 12.058 \text{ unités.}$$

La section moyenne de la partie des deux ENTRE-PIÈCES comprise entre les deux plans normaux à l'axe distante de 1 centimètre est de 18,15 centimètres carrés.

Il doit passer, à travers ces deux entrefers, longs chacun de 2,43 centimètres, $20.000 \times 3,5 \times 2 = 140.000$ lignes de force. La différence de potentiels magnétiques nécessaire pour cela sera de

$$\frac{2,13 \times 2}{18,15} \times 140.000 = 32.850.$$

Il faudra donc développer entre les deux pièces polaires de la machine une différence de potentiels magnétiques égale à $12.058 + 32.850 = 44.917$ unités.

Nous allons chercher maintenant comment il convient de disposer les inducteurs pour déterminer cette différence de potentiels entre les pièces polaires.

Si on désigne par *n* le nombre de tours effectué par le conducteur d'un SOUS-TORQUE et par *i* l'intensité du courant qui le traverse exprimé en unités CGS, la force magnétisante développée est égale à $4\pi ni$ (V. MAGNÉTISME.)

La différence de potentiels développée le long des pièces polaires doit être assimilée, dans ce cas, à une force démagnétisante, il faut donc que la force démagnétisante totale ($4\pi ni - 44.917$) soit suffisante pour faire passer à travers l'inducteur le nombre de lignes de force capable de saturer l'induit.

Mais il faut remarquer que toutes les lignes de force développées dans l'inducteur ne traverseront pas nécessairement l'induit. Il y en aura un certain nombre qui passeront directement d'une pièce polaire à l'autre, notamment par les extrémités, d'autres qui passeront directement d'une des branches de l'inducteur dans l'autre branche, s'il est en forme de fer à cheval, comme cela s'est toujours fait jusqu'à présent.

Estimons d'abord le nombre de lignes de force qui passeront directement d'une pièce polaire à l'autre. Nous aurons évidemment une limite supérieure de ce nombre en supposant l'induit enlevé et cherchant le nombre de lignes de force qui passeraient d'une pièce polaire à l'autre, dans l'intervalle ménagé entre deux plans tangents à leurs extrémités, si on maintenait entre elles la même différence de potentiels magnétiques.

La longueur moyenne de l'entrefer serait de 21,6, et sa section de 18 centimètres carrés, celle-ci rapportée à une portion de l'espace comprise entre deux plans normaux à l'axe distants de $0^m,01$.

Le nombre de lignes de force qui passeraient dans cette portion d'espace serait donc de

$$\frac{44.917 \times 18}{21,6} = 37.430.$$

Les pièces polaires et l'induit ont une longueur de $0^m,40$, il devra donc émerger des pièces polaires

$$(140.000 + 37.430) \times 0,40 = 7.097.200 \text{ lignes de force.}$$

Chacune des surfaces polaires offre une surface de

sortie de 815 centimètres carrés, l'intensité du champ sera dans ces pièces de

$$\frac{2.057.200}{815} = 2.500 \text{ unités.}$$

Étant donné que nous n'avons fait envelopper par nos pièces polaires que le quart de la circonférence de l'induit, il est de bonne construction de donner aux noyaux des inducteurs et à la culasse qui les réunit une section égale à celle des pièces polaires.

Le champ dans les noyaux et dans la culasse sera donc de 8.708 unités, et le tableau précédent nous montre qu'alors la perméabilité du fer est de 530 environ.

Désignons par L la longueur développée des pièces polaires; noyaux et culasse, il viendra, d'après ce que nous avons dit plus haut

$$4 \times 95 = 44.917 + \frac{1.8.708}{530} = 44.917 + 16,43 L.$$

en exprimant L en centimètres et i en unités CGS. Si nous désignons par N le nombre d'ampères-tours égal à ni , il viendra

$$4 \times N = 10 (44.917 + 16,43 L).$$

Si on devait prendre, pour des considérations quelconques, $L = 500$ centimètres, il viendrait $N = 38.358$.

Si le diamètre du fil enroulé sur l'inducteur était de 2 millimètres et si l'on se proposait encore de ne faire passer qu'un ampère par millimètre carré, le nombre de tours que devrait faire ce conducteur serait de 12.215, c'est-à-dire qu'il devrait y avoir sur les noyaux ou mois-tres couches de fil, s'il n'y avait pas de enlasse. Ce nombre de tours diminuerait proportionnellement à la densité que l'on adopterait pour le courant.

Dans ce qui précède, nous ne nous sommes pas proposés de déterminer les dimensions d'une machine susceptible d'être réalisée, nous avons notamment admis des densités de courant beaucoup plus faibles que celles qu'on emploie généralement. Mais nous pensons avoir mis suffisamment en relief les rôles des divers éléments d'une machine et montré comment on pouvait les déterminer avec une approximation suffisante pour atteindre un but déterminé.

On remarquera en particulier l'importance qu'il y a à réduire autant que possible l'entrefer d'une machine et l'intérêt qu'il y a à faire des noyaux d'inducteurs gros et courts. La forme qui convient le mieux pour ces derniers est la forme cylindrique, car à section, c'est-à-dire à perméabilité égale, c'est celle qui nécessite la moins grande longueur de fil pour un nombre d'ampères-tours déterminé.

La méthode que nous avons suivie devrait conduire à faire une machine trop puissante, mais nous avons négligé deux causes d'affaiblissement sur lesquelles nous allons revenir :

1° Nous n'avons pas tenu compte de l'influence diamagnétisante des spires de l'induit.

Celles-ci donnent lieu à des lignes de force mpq qui se ferment, comme il est représenté fig. 73. Comme elles ne se produisent pas dans la région saturée de l'anneau, et que les pièces polaires sont toujours loin d'être saturées, elles ne diminuent pas beaucoup sa perméabilité; mais leur présence, si elle n'agit que peu sur l'intensité moyenne du champ développé, a l'inconvénient de le déformer et de faire en sorte que son intensité maxima ne soit plus dans le plan médian

des inducteurs. On y remédie en faisant varier le calage des balais.

2° Nous n'avons pas tenu compte des lignes de force qui vont de l'un des inducteurs à l'autre à travers l'air. On pourrait y arriver au moyen de calculs compliqués analogues à ceux que l'on doit aborder dans l'étude des piles placées dans un milieu conducteur.

Cela n'a pas grande importance en pratique; ce qui importe, c'est de pouvoir déterminer rapidement les dimensions des organes principaux d'une machine, en se réservant de faire varier dans des limites peu étendues la vitesse de rotation ou l'intensité du courant.

On ne procède pas autrement dans l'étude des machines à vapeur où l'on se réserve toujours de faire varier légèrement soit la vitesse, soit le degré d'admission.

Les considérations que nous venons d'exposer au sujet d'un induit du genre Gramme sont immédiatement applicables à toute autre machine.

MACHINE-OUTIL MAGNÉTO-ÉLECTRIQUE. — Machine-outil actionnée par un moteur électro-magnétique. (V. la fig. page 481.)

M. Rowan a construit des riveteuses et des perceuses électro-magnétiques qui sont employées en Angleterre dans les ateliers de M.M. Macmillan, constructeurs bien connus qui se sont servis les premiers des machines à river, sur les navires. M. Rowan a étudié non seulement la question des rivures mécaniques, mais aussi celles du forage, du fraisage, des taraudages, du calottage, du malage. Ces machines se suspendent contre les plaques et permettent de percer et de fraiser les recouvrements et les joints des têtes de bordage, de river les plaques, d'adoucir les têtes des rivets à l'extérieur et finalement de calfeutrer et de mater les bords des plaques et les têtes de bordage.

Les machines de M. Rowan démontrent les avantages de l'électricité pour la transmission de la force et la commande des machines-outils et présentent en outre une autre application fort ingénieuse du courant électrique qui est susceptible de rendre des services dans l'industrie. Les différents appareils (machines à river, à forer, à découper, à mater) reçoivent les uns et les autres de puissants électro-aimants qui, lorsqu'ils sont traversés par le courant, viennent s'appliquer fortement contre les plaques et maintiennent solidement l'outil à la place où il doit travailler. La fixation de ce dernier s'obtient ainsi d'une manière simple et commode. (*The Engineer*, 3 juin 1887.)

La fig. de la page 484 montre la vue perspective d'une perceuse en travail.

MACHINE RHÉOSTATIQUE. — Appareil imaginé par M. G. Planté, et à l'aide duquel ce savant est parvenu à transformer d'une manière aussi complète que possible l'électricité dynamique en électricité statique. Après avoir construit une batterie de 810 couples secondaires ou accumulateurs donnant un courant

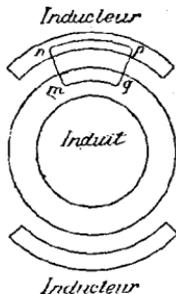
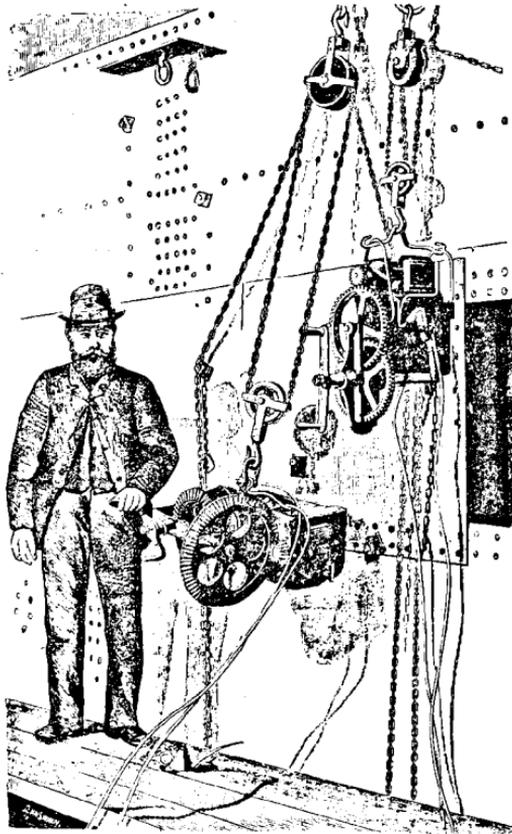


Fig. 73.

d'une force électromotrice de 2.000 volts avec une source de 3 1/2 volts, M. Planté voulut obtenir les plus hautes tensions qui aient jamais été atteintes dans les laboratoires; il construisit pour cela la machine rhéostatique, à l'aide de laquelle on produit des effets identiques à ceux d'une machine à frottement

ou à influence, bien que l'appareil soit chargé par le courant d'une pile primaire.

Cet appareil se compose d'une série de condensateurs; en voici la description telle que la donne M. Planté. « Toutes les pièces de l'appareil sont isolées avec soin. Le commutateur est formé d'un long cylin-



Machine-outil magnéto-électrique. (Vue d'uno percours en travail.)

dre en caoutchouc durci, muni de bandes métalliques longitudinales destinées à réunir les condensateurs en surface, et traversé en même temps par des fils de cuivre courbés à leurs extrémités, ou des fiches métalliques formant une légère saillie arrondie ayant pour objet d'associer les condensateurs en tension. Des fils métalliques façonnés en ressort sont mis en relation avec les deux armatures de chaque condensateur et fixés sur une plaque en ébonite, de chaque côté du

cylindre, qui peut être animé d'un mouvement rapide de rotation. Lorsque le cylindre est tourné de manière à présenter au contact des ressorts ses bandes métalliques longitudinales, les armatures de rang pair de tous les condensateurs se trouvent réunies d'un côté, toutes les armatures de rang impair sont réunies de l'autre côté, de manière à ne former qu'un condensateur unique de grande surface qui se charge quand on fait aboutir à ses bornes les pôles de la batterie. La

machine rhéostatique représentée fig. 1 est composée de quatre-vingts condensateurs; le cylindre en caout-

chouc durci du commutateur a 1 mètre de longueur sur 0^m,15 de diamètre. Les étincelles produites par

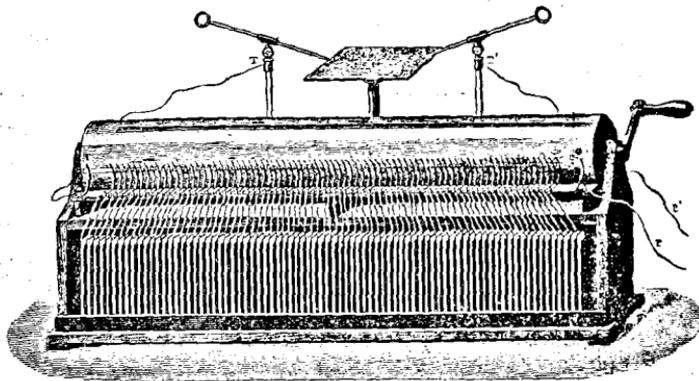


Fig. 1. — Machine rhéostatique de 80 condensateurs de M. G. Planté.

cette machine atteignent une longueur de 0^m,12. Une expérience des plus intéressantes à faire consiste à repandre de la fleur de soufre entre les deux pointes de l'excitateur appuyées sur une plaque de matière isolante. On obtient des étincelles de 0^m,15 de longueur. Si l'on fait usage d'une poudre très con-

elles forment sur leur passage un sillon sinuex de

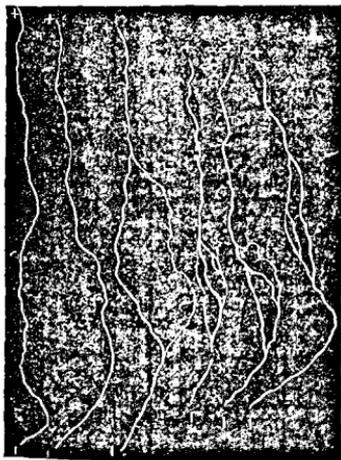


Fig. 2. — Étincelles produites au moyen de la Machine rhéostatique de M. Gaston Planté.

ductrice, telle que de la limaille métallique, on peut arriver à obtenir des étincelles de 0^m,70. Lorsque les étincelles traversent la fleur de soufre, dit M. Planté,



Fig. 3. — Arborescences formées sur le trajet d'une étincelle de 0^m,15 de longueur, au moyen de la Machine rhéostatique de M. Gaston Planté.

0^m,002 à 0^m,063 de largeur, et si la surface isolante sur laquelle est répandue la fleur de soufre est un

mélange de résine et de 1/10 environ de paraffine, elles laissent au milieu du sillon une ligne bleuâtre très nette, directement visible, tracée comme à la mine de plomb et qui permet d'en conserver l'exacte autographie. Toutefois cette trace tend à s'effacer par le frottement; mais en la suivant fidèlement et en la creusant à l'aide d'une pointe on la rend ineffaçable et on peut ensuite la décalquer facilement. On obtient ainsi des tracés analogues à ceux de la fig. 2, qui représentent des étincelles de longueurs diverses.

On peut faire une autre expérience curieuse en enlevant l'excès de soufre par quelques légers choes donnés à la lame isolante sur laquelle les étincelles ont laissé leur sillon. La fig. 3 représente des arborescences fournies par une étincelle de 0m,45 de longueur produite au moyen de la machine rhéostatique. C'est en présence de ces effets si bien caractérisés qu'on peut expliquer les empreintes d'apparence végétale que l'on a observées quelquefois sur le corps de personnes foudroyées. On peut encore obtenir à l'aide de la machine rhéostatique de belles figures de LICHTENBERG en insufflant sur des plateaux de résine sur lesquelles ont éclaté des décharges un mélange de poudre de soufre et de minium, et leurs traces, fixées sur un papier humecté d'un vernis, constituent de précieux éléments pour l'étude de la DÉCHARGE ÉLECTRIQUE.

MACHINE UNIPOLAIRE. — Nom sous lequel on désigne les MACHINES DYNAMOS utilisant les courants d'induction produits par la rotation soit d'un disque de cuivre dans un champ magnétique, soit d'un cylindre de cuivre autour d'un pôle d'aimant ou d'électro-aimant qu'il enveloppe.

MAGNÉTIMÈTRE. — Appareil servant à constater la présence et à mesurer l'intensité de la puissance magnétique des aimants et du globe terrestre. (V. MAGNÉTOMÈTRE.)

MAGNÉTIPOLAIRE. — Se dit d'une robe magnétique dans laquelle se manifestent des pôles.

MAGNÉTIQUE. — On a expliqué ce mot grec de plusieurs manières. Platon, Elien et Diogénianus paraissent avoir cru que le nom de *lithos eraktes*, qu'on donnait autrefois à l'aimant, avait pour cause l'origine locale de l'aimant, qui, suivant eux, devait venir principalement d'une ville consacrée à Hercule et nommée à cause de cela Héraclée. La plupart des anciens, entraînés peut-être par l'autorité de Platon, ont pensé comme lui sur ce point et ont cru que l'aimant venait surtout d'une ville d'Héraclée, en Ionie. Quant à la dénomination de *lithos magnétis*, dont s'est servi Platon, les uns disaient que l'aimant avait été découvert pour la première fois dans le pays des Magnésiens; d'autres, qu'il l'avait été par un berger appelé Magnés, qui s'était aperçu que la pointe de son bâton ferré et les clous de ses chaussures se collaient à cette pierre.

Azimat magnétique. — Angle qui mesure la déclinaison de l'aiguille aimantée.

Barreaux ou barres magnétiques. — Réunion de barres d'acier trempé dont on a fait des aimants artificiels. (V. AIMANT.)

Courant magnétique. — Fluide magnétique mis ou supposé en mouvement. (V. COURANT.)

Équateur magnétique. — Courbe sinueuse formée à la surface de la terre par la série des points où l'aiguille de déclinaison garde une position horizontale. (V. AIGUILLE AIMANTÉE ET BOUSSOLE.)

Fluide magnétique. — Fluide hypothétique généralement admis pour expliquer les propriétés des aimants. (V. FLUIDE.)

Méridien magnétique. — Plan qui coupe la terre dans la direction de l'aiguille aimantée. (V. MAGNÉTISME TERRESTRE.)

Pôles magnétiques. — Points de la terre vers lesquels concourent les méridiens magnétiques. (V. MAGNÉTISME TERRESTRE.)

Tourbillon magnétique. — Mouvement imprimé à l'air par l'attraction magnétique entre un aimant et une masse de fer ou d'acier placée sous l'influence de l'aimant.

MAGNÉTISME. — Puissance d'attraction des aimants sur le fer et l'acier, et faculté qu'ils ont de se diriger vers un point de la terre voisin du pôle.

Magnétisme terrestre. — Action du globe sur les aimants, qui les attire vers l'un de ses points appelé PÔLE MAGNÉTIQUE.

Magnétisme animal ou simplement Magnétisme. — Influence d'un individu sur une autre personne ou sur certains objets, exercée à l'aide d'un fluide particulier, appelé *fluide magnétique, animal ou vital*, ou par le seul effort de la volonté. L'expression *magnétisme animal* sert aussi à désigner les opérations par lesquelles se produit le somnambulisme artificiel appelé *somnambulisme magnétique*. (V. HYPNOTISME.)

Magnétisme animal. — Nous nous contenterons de résumer ici les principales opinions qui ont été émises sur un sujet encore trop controversé pour qu'on puisse dégager des conclusions scientifiques. Nous renvoyons ceux de nos lecteurs que ce sujet intéresse particulièrement : 1° au mot *HYPERESTHÉSIE*; 2° à l'ouvrage très complet de MM. Féré et Binet sur le magnétisme animal (Bibliothèque de philosophie contemporaine, Alcan, éditeur).

Des croyants trop enthousiastes et des incrédules trop absolus ont discuté avec passion l'existence du magnétisme animal; et, cela est d'usage dans toutes les controverses scientifiques, l'un des camps a cherché des arguments dans les temps les plus reculés et les pays les plus éloignés.

À propos de magnétisme, on a cité les Indous, les Égyptiens, les Hébreux, les pythonniques, les sybilles, les prophètes, les inspirés et les mystiques de tous les temps et de tous les lieux.

En réalité, les premières traces de notions sur le magnétisme se rencontrent chez Paracelse, médecin, né en 1493 à Einsiedeln (canton de Schwitz), mort à Salzbourg, en 1541.

Van Helmont (J.-B.), célèbre empirique, né à Bruxelles en 1577, mort en 1644, fut un peu plus affirmatif; mais déjà avant lui ce mot servait à désigner une pratique qui ne s'éloigne pas trop de celles des magnétiseurs. Le *Dictionnaire de Trévoux* apprend qu'on nommait ainsi une méthode curative consistant à administrer certains remèdes, qu'il n'indiqua pas, au sang qu'on avait tiré au malade. Toutefois, Mesmer, médecin allemand, né en 1734, à Stzmang (Haute-Saône), mort dans cette même ville, en 1815, a seul fait connaître et populariser le *magnétisme*, qu'il considérait comme un fluide universel remplissant tout le monde créé et établissant entre les corps célestes des relations harmoniques. Suivant lui le même fluide pénètre les organismes des animaux et y détermine deux rôles opposés comme le magnétisme terrestre dans les aimants; l'homme peut à volonté émettre loin de lui le fluide dont il est pénétré,

et lui faire produire les effets qui constituaient la puissance des magnétiseurs. Ce système n'a pas survécu à Mesmer; mais ses disciples essayèrent, sinon d'améliorer, au moins de simplifier sa doctrine. Les uns réduisirent le magnétisme animal à un fluide que l'homme peut émettre à volonté et qui n'existe pas en dehors des animaux; les autres nièrent l'existence même du fluide et virent dans le magnétisme l'action directe de la volonté du magnétiseur.

Les immenses progrès du mesmerisme préoccupèrent bientôt l'opinion publique et finirent même par attirer l'attention du gouvernement. Une commission mixte, composée de membres de l'Académie des Sciences et de la Faculté de médecine, fut chargée de contrôler les assertions des novateurs (1784). Le résultat de ses travaux, conduits avec une sagacité incontestable, et dont Baillif présenta le rapport, fut absolument contraire au magnétisme. La commission s'était appliquée surtout, en acceptant les sujets présentés par les magnétiseurs, à les soumettre à deux séries d'expériences qui consistaient: 1° à les magnétiser à leur insu; 2° à leur faire croire faussement qu'on les magnétisait. Il arriva que ceux qu'on avait feint de magnétiser éprouvèrent le sommeil et toutes les crises de la magnétisation, et que ceux qu'on magnétisa sans les prévenir échappèrent complètement au magnétisme. La conclusion de la commission fut que les phénomènes prétendus magnétiques sont entièrement dus à l'imagination. On peut dire que le corps médical ne s'écarta que très prudemment de la ligne de conduite qu'il s'était ainsi tracée dès le début du magnétisme, et ditons tout de suite que le charlatanisme impudenc des uns, la crédulité et le fanatisme des autres justifiaient amplement la répulsion de la plupart des savants. M. Puyssigier, qui s'amusa à magnétiser des ormes et obtint par leur intermédiaire des guérisons merveilleuses, n'était guère fait pour attirer au magnétisme l'approbation des hommes sérieux; elle fit toujours défaut à la nouvelle doctrine.

En dehors de toute cause de prévention, on conçoit la répugnance qu'éprouvaient les hommes instruits à croire à l'influence médicale de l'eau magnétisée, qui guérissait toutes les maladies, y compris celles des roses et des geraniens; aux raisins mûrs en quelques minutes par un magnétiseur; à la lucidité des sujets qui suivaient les sens à deux cents lieues de distance, lisaient avec le bout des doigts des lettres cachetées, écrites même dans une langue qui leur était étrangère, ou qui lisaient sans avoir appris à lire.

Le public lui-même, malgré son goût naïf pour le merveilleux, finit par se lasser de ces nouveautés qui l'avaient d'abord enthousiasmé, et qui, au fond, soit par la nature des choses, soit par le charlatanisme d'une multitude d'intriguants, étaient loin de donner tout ce qu'on avait attendu d'elles et tout ce que ses partisans avaient promis en leur nom. Depuis, le magnétisme a eu des moments de recrudescence; mais, en somme, il a perdu constamment du terrain et, croyons-nous, reçu le dernier coup d'une découverte qui avait paru d'abord l'appuyer et qui a finit par le détruire; nous voulons parler de l'hypnotisme.

Néanmoins, tout en cessant d'être populaire, le magnétisme continua à se développer dans un certain monde plus restreint, mais peut-être plus fanatique. Paris eut sa Société du mesmerisme, qui donnait des séances publiques deux fois par mois et publiait un journal; sa Société philanthropico-magnétique, qui avait aussi son bulletin et donnait pareillement des séances publiques. L'Angleterre, peu amie de la spéculation pure, eut, à côté de ses sociétés magnétiques, des infirmeries où les malades étaient soumis au régime des passes et de l'eau magnétisée. On y

guérissait autant et peut-être mieux que dans les hôpitaux ordinaires. En tout cas, l'état cataleptique qui accompagne souvent le somnambulisme fut utilisé d'une façon aussi merveilleuse qu'inattendue: J. Cloquet opéra d'un cancer au sein, sans douleur, une femme préalablement magnétisée.

En 1825, une nouvelle commission se livra à de nouvelles expériences. Husson fit à la Faculté de médecine de Paris un rapport favorable, basé il est vrai sur la bonne foi du magnétiseur Foissac et de magnétiste Cazot, procédé honnête, mais peu scientifique.

Ce succès encouragea les magnétiseurs et conduisit à de nouvelles découvertes: Thilorier et Lafontaine se reconnurent la faculté d'animer les barreaux d'acier, mais ne purent jamais l'exercer en présence d'Arago. Même échec éprouvé par Angélique Cottin devant Babinet. En l'absence de ce savant, elle rejetait à des distances prodigieuses le tabouret sur lequel elle était assise, ou même des meubles auxquels elle ne touchait que par l'intermédiaire d'un fil conducteur. Enfin, la puissance des magnétiseurs devint telle qu'ils purent, en étendant la main, dissiper les nuages. Ricard faisait tomber la pluie où il voulait.

L'Académie, lassée de tant de charlatanisme, dut cependant consentir à un nouvel examen, qui roula sur la vision à travers un obstacle. Aucun sujet n'eut la vue assez perçante pour lire à travers les bandeaux de la commission, et ce fut alors que Burdin fonda un prix de 3.000 francs pour le sujet qui lirait à travers un corps opaque. Aucun magnétiseur ne voulut accepter les conditions du concours, destinées uniquement à empêcher la fraude, et le prix ne fut pas adjugé. Personne ne s'avisa d'aller chercher un sujet aux Quinze-Vingts, ce qui eût épargné toute discussion sur la forme et les dimensions du bandeau.

Tant d'insuccès étaient bien faits, ce semblerait, pour décourager les magnétiseurs; néanmoins, le magnétisme a, de nos jours, conservé assez de partisans pour qu'il soit nécessaire d'exposer les raisons qu'ils donnent de leur croyance et celles que leurs adversaires mettent en avant pour le combattre.

L'argumentation des magnétiseurs se réduit à deux ordres de preuves: la théorie et les faits. Les raisons théoriques sont des raisons purement négatives et ne sauraient être autre chose. On conçoit, en effet, que les partisans du magnétisme ne puissent prétendre prouver *a priori* l'existence et les effets du fluide magnétique; mais ils s'attachent à montrer que l'existence de ce fluide n'est pas absurde, comme l'affirment leurs adversaires, et qu'en tout cas des analogies frappantes et la plupart incontestées peuvent faire présumer son existence. Au fond, la théorie presque tout entière du magnétisme animal repose sur la transmission des sensations du magnétiseur à l'âme (matérielle ou immatérielle) du magnétisé.

A défaut de la théorie qui est réellement impuissante, on peut invoquer les faits, dont l'autorité est décisive. Des magnétisés, sous l'influence de leur magnétiseur, ont désigné des remèdes applicables à certaines maladies, et l'ont fait en des termes scientifiques qui leur étaient complètement étrangers. Ils ont décrit avec précision, sous la même influence, des lieux qu'ils n'avaient jamais visités, des scènes qui se passaient loin d'eux et que des renseignements postérieurs ont entièrement confirmés. Le magnétisé ne possède pas le don de prophétie; du moins, les partisans sérieux du magnétisme le lui refusent absolument; il ne prévoit pas, mais il voit, et ce à distance, par l'intermédiaire du fluide magnétique.

Ainsi raisonnent les partisans du magnétisme. Voici comment répondent ses adversaires. Les arguments négatifs débarrassent un terrain, mais n'y construisent

rien. Le magnétisme est, en tout cas, un agent inexplicable et inexplicable; pour le prouver, il ne suffit pas de réfuter les arguments qui le démontreraient impossible, il faut appuyer sur existence sur des faits positifs. Les partisans du magnétisme en allèguent beaucoup; mais plusieurs choses sont à remarquer à cet égard, ceci surtout que les faits non scientifiquement contrôlés sont presque toujours niables.

Cependant il n'est pas douteux qu'il existe, inconnu dans sa nature, mais certain par ses effets, un agent, un fluide si l'on veut, qui transmet la volonté dans des circonstances et sous des conditions encore mal définies. Sous l'influence de cet agent, des effets véritablement merveilleux se produisent journellement. Des malades qui ont voulu être guéris l'ont été réellement; des femmes hystériques ont pu tomber en catalepsie et devenir insensibles aux plus vives douleurs.

Enfin, un autre fait, connu depuis moins longtemps, mais non moins incontestable, est l'influence cataleptique de la tension des organes dans une même direction. L'hypnotisme, qui ne diffère pas du magnétisme, est le résultat de la vision maintenue sur un même point, durant un certain temps et dans certaines conditions. L'hypnotisme explique ou plutôt reproduit complètement le second degré du magnétisme, c'est-à-dire le somnambulisme. On peut donc croire à l'influence des passes, du regard, de toutes les manœuvres du magnétisme, du moins dans les limites que nous avons indiquées. Mais ici, qu'on ne perde pas de vue que cette influence est d'autant plus grande, au témoignage même des opérateurs, que le magnétisé est d'un caractère plus sensible, d'une constitution plus nerveuse, c'est-à-dire, en définitive, d'un tempérament et d'un esprit plus faibles. Les femmes hystériques fournissent des sujets de premier ordre. Cela suffit pour faire comprendre tous les dangers attachés aux manœuvres des magnétiseurs; l'usage du magnétisme, quand il est sincèrement appliqué, est bien plus terrible que celui de l'opium; mais il convient de reconnaître que l'immense majorité des sujets qui s'y livrent sont parfaitement prémunis par une incrédulité absolue contre les abus qu'il peut présenter. On nous permettra, à cet égard, d'invoquer l'autorité non suspecte de M. A.-S. Mocin, un croyant modéré, mais un croyant qui a pratiqué sérieusement le magnétisme, et qui a fait un livre sur la matière; or, voici en quels termes il conclut : « 1° les somnambules lucides sont excessivement rares; 2° chez les meilleurs somnambules, les accès de lucidité sont fort peu communs; 3° dans les meilleurs accès de lucidité, le vrai est toujours mêlé de faux; 4° les sujets même les plus lucides sont également impressionnés du vrai et du faux, sans pouvoir discerner la réalité de l'illusion, et il n'existe, ni pour le voyant, ni pour les autres personnes, aucun moyen de reconnaître s'il est en veine de lucidité ou si, au contraire, il est le jouet des fantômes. » Certes, voilà une lucidité qui ne se distingue guère des plus épaisses lénérations, et qui peut en outre donner lieu à de bien graves méprises. Il n'est donc pas étonnant que des médecins sérieux aient renoncé au magnétisme à cause de ses dangers.

MAGNÉTISME INDUIT. — Si on prend un barreau court de fer doux de même forme qu'un aimant AB, et qu'on le place contre un pôle B de cet aimant, il est attiré, et l'attraction est la même quel que soit le bout présenté à l'aimant. Si on approche maintenant d'une nouvelle l'ensemble de l'aimant et du barreau court de fer doux, c'est à peine s'il y a des traces d'attraction ou de répulsion au pôle de l'aimant B en contact avec le fer doux, tandis qu'un

nouveau pôle, de puissance presque égale au pôle opposé A, mais d'espece contraire, s'est manifesté à l'extrémité libre du barreau de fer doux. C'est que l'extrémité B de l'aimant d'acier AB a induit dans le barreau court de fer doux un pôle contraire au sien et d'intensité presque égale. L'attraction du fer doux s'explique de cette façon, car le pôle B attire le pôle opposé, qu'il a lui-même induit.

MAGNÉTISME PROPREMENT DIT. — Ensemble des propriétés des AIMANTS. On trouvera à ce mot la définition d'un aimant naturel et d'un aimant artificiel, la nomenclature de leurs propriétés. — On a également indiqué ce qu'il fallait entendre par force magnétique, polarité magnétique; on a donné des détails circonstanciés sur les divers modes d'aimantation, ainsi qu'une théorie générale du magnétisme. Dans cette dernière étude on a défini les expressions: quantité de magnétisme, unité de quantité de magnétisme; champ et intensité de champ magnétique; potentiel magnétique; champ magnétique uniforme; moment magnétique; intensité d'aimantation; — on a résolu différents problèmes relatifs aux aimants, c'est-à-dire que l'on a déterminé l'intensité de magnétisation d'un corps aimanté, l'intensité de magnétisation en chaque point d'un aimant et l'intensité d'un champ magnétique en chacun de ses points. — On a décrit sommairement les méthodes pratiques à employer pour ces déterminations; on a donné la valeur des principales grandeurs magnétiques en mesures absolues; on a indiqué la forme des aimants, les précautions à prendre pour leur conservation et leurs principaux usages.

Mais, comme le magnétisme joue un rôle très important dans l'étude et la construction des machines électriques, il ne sera pas inutile de donner ici une théorie mathématique du magnétisme.

Théorie mathématique du magnétisme. — Elle repose sur deux faits expérimentaux :

1° Si l'on brise un aimant en un nombre indéfini de petits fragments, chacun d'eux jouit des propriétés d'un aimant complet doué de deux pôles égaux en intensité.

2° Deux pôles s'attirent ou se repoussent suivant qu'ils sont de signes contraires ou semblables proportionnellement au produit de leurs intensités, et en raison inverse du carré de leur distance. (Loi de Coulomb.)

Surfaces de niveau. — Si l'on déplace dans l'espace un pôle d'aimant, on constatera que partant d'un point donné on pourra le déplacer sur une surface déterminée sans dépenser ni récupérer aucun travail. En tout point de l'espace existe une pareille surface, mais il n'en existe qu'une, sans quoi on serait conduit au mouvement perpétuel.

Si les MASSES MAGNÉTIQUES qui constituent un CHAMP sont finies, ce qui est le cas de la pratique, les diverses surfaces de niveau qu'elles déterminent sont nécessairement fermées. Sans cela, en effet, on pourrait s'éloigner à l'infini d'un aimant sans dépenser, ni récupérer de travail, ce qui est absurde.

Lignes de force. — On désigne ainsi les orthogonales aux surfaces de niveau.

C'est, par suite, en suivant une ligne de force qu'on ira d'une surface de niveau donnée sur une autre, en parcourant le moindre chemin. Le travail récupéré ou dépensé étant indépendant de ce chemin, il en résulte que c'est suivant la direction d'une ligne de force que l'intensité de la force est la plus grande. La direction de cette force sera celle que prendrait un petit aimant si on le laissait libre de s'orienter lui-même.

Tubes d'induction, flux d'induction. — Considérons une courbe quelconque tracée dans l'espace, et les lignes de force qui passent par chacun de ses points : l'ensemble de ces lignes constitue une *surface-canal* (fig. 1) à laquelle on a donné le nom de *tube de force* ou *d'induction*.

La section d'un pareil tube est variable en général, mais le produit de cette section par la composante normale de la force d'induction est constant. On a donné à ce produit le nom de *flux d'induction*.

Les tubes d'induction sont fermés sur eux-mêmes.

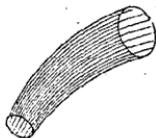


Fig. 1.

— C'est Faraday qui a émis le premier cette opinion, et l'expérience n'a fait que la confirmer.

Un tube d'induction émanant d'un corps magnétisé positivement va toujours aboutir sur un autre corps magnétisé négativement, le traverse pour en sortir par sa surface positive, puis rentre dans le premier corps par sa surface négative pour se fermer sur lui-même.

Intensité du flux d'induction qui parcourt un tube.

— **Théorème de Green.** — L'action d'un aimant sur tout point extérieur est équivalente à celle d'une couche magnétique fictive, de masse totale égale à zéro, distribuée à la surface suivant une certaine loi.

Si nous considérons une semblable couche et si nous désignons par l la quantité de magnétisme ré-

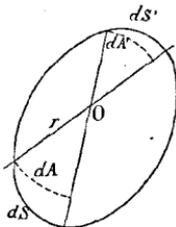


Fig. 2.

partie sur la surface qu'un tube d'induction quelconque y découpe, l'intensité du flux d'induction qui parcourt ce tube a pour valeur $4\pi l$.

Ce dernier théorème est dû à Green, et nous allons en donner la démonstration :

1° Considérons une surface fermée quelconque S au milieu de laquelle existe une seule masse magnétique m située au point O (fig. 2).

Du point O pris comme sommet décrivons un cône infiniment délié qui découpera dans la surface S deux éléments dS et dS' .

Appelons dA et dA' les sections droites du cône aux points où il coupe la surface ;

r la distance de dS au point O ;

h la valeur de la force le long de dS ;

h_n la valeur de la composante de cette force normale à dS ;

ω l'angle des forces h et h_n .

La portion de surface dA fait partie d'une surface ÉQUIPOTENTIELLE, puisqu'il n'y a pas d'autre masse agissante que celle située en O. La force h lui est donc normale, et l'on a

$$h_x = h \cos \omega = dS \cos \omega = dA,$$

d'où

$$h_x dS = dA.$$

D'autre part, en appelant ω l'angle solide d'ouverture du cône on a

$$\omega = \frac{m}{r^2} \quad dA = r^2 d\omega,$$

d'où

$$h dA = m d\omega.$$

Donc

$$h_x dS = m d\omega.$$

On aurait de même

$$h'_x dS' = m d\omega,$$

et pour la surface entière

$$\int h_x dS = m \int d\omega = 4\pi m.$$

2° Considérons une surface S à l'extérieur de la-

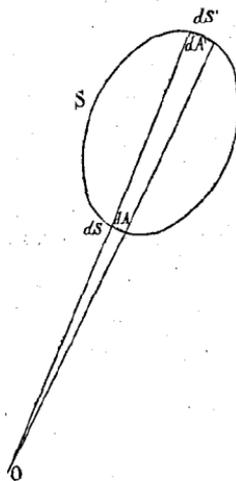


Fig. 3.

quelle se trouve une seule masse magnétique m située en un point O (fig. 3).

En raisonnant comme tout à l'heure et en conservant les mêmes notations, on a

$$h_x dS = h'_x dS' = m d\omega.$$

3° Si au lieu d'une seule masse magnétique il y en avait plusieurs, situées soit à l'intérieur, soit à

l'extérieur de la surface S , en désignant par I la somme algébrique des masses élémentaires comprises dans la surface, on verra de même que

$$\int h_s ds = 4\pi I.$$

Il en résulte que :

1° *L'intensité du flux d'induction qui se propage dans un tube est constante lorsque celui-ci ne renferme aucune masse agissante.*

2° *Si on considère l'ensemble du tube d'induction qui, comme nous l'avons vu plus haut, est toujours fermé sur lui-même, l'intensité du flux d'induction développé sera égale à la somme algébrique des masses agissantes renfermées dans le tube, multipliée par 4.*

On est conduit à assimiler la propagation de la force dans un tube à l'écoulement d'un fluide incompressible dans un canal dont la paroi serait imperméable. La force se propagerait ainsi d'une manière continue d'un point à un autre, en vertu d'une déformation élastique du milieu intermédiaire.

Tube d'induction unité. — Nous appellerons ainsi un tube tel que si l'on désigne par S la section qu'il découpe sur une surface de niveau quelconque, et par H l'intensité moyenne du champ magnétique, le long de cette section, on ait

$$HS = 1.$$

Susceptibilité et perméabilité magnétiques. — Si nous suivons un tube d'induction dans toute son étendue, nous verrons sa section tantôt s'élargir, tantôt s'amincir.

Réciproquement, si nous déplaçons normalement à la direction des tubes d'induction une surface déterminée, nous voyons que le nombre des tubes-unités qui la coupent varie à chaque instant.

Le nombre des tubes-unités qui coupent l'unité de surface située perpendiculairement à la direction de ces tubes en un point quelconque du champ représente la *grandeur de l'induction magnétique* en ce point.

Considérons un corps quelconque situé dans un champ magnétique.

Soit S sa section ;

N le nombre des tubes d'induction qui traversent l'unité de section de ce corps ;

I l'intensité d'aimantation induite ;

H l'intensité du champ au point où est situé le corps, au moment où celui-ci n'y était pas encore plongé.

L'induction totale développée dans ce corps est égale à NS .

Sa grandeur est égale à la somme des tubes d'induction du champ primitif et de ceux qui résultent du magnétisme induit dans le corps.

La somme des masses positives induites est $+IS$ et celle des masses négatives $-IS$.

D'après le *théorème de Green* (cité plus haut), le nombre des tubes d'induction qui traversent le corps est égal à $4\pi IS$. On a donc

$$NS = HS + 4\pi IS,$$

ou

$$\frac{N}{H} = 1 + 4\pi \frac{I}{H}.$$

Le rapport $\frac{I}{H}$ a reçu le nom de *coefficient d'aimantation induite*. C'est l'intensité d'aimantation dans un

champ égal à l'unité. On lui a encore donné le nom de *susceptibilité magnétique*.

Le rapport $\frac{N}{H}$ a reçu le nom de *perméabilité magnétique*, c'est la valeur de l'induction totale dans un champ égal à 1.

Résistance magnétique. — La perméabilité magnétique n'est autre chose que la conductibilité du milieu considéré, pour le flux d'induction. L'inverse de cette grandeur peut être assimilée à la résistance électrique.

Mais il existe une grande différence entre ces deux grandeurs. En effet, la résistance d'un conducteur est indépendante de l'intensité du courant qui le parcourt, tandis que la résistance magnétique croît avec l'intensité du flux d'induction, surtout avec les corps très magnétiques tels que le fer.

Ce fait n'est d'ailleurs qu'une conséquence de l'hypothèse d'Ampère : « Le magnétisme préexiste dans les corps, et l'action de la force d'induction n'a d'autre effet que d'orienter les molécules du corps sur lequel elles agissent. » On conçoit, en effet, que lorsque toutes les molécules sont orientées, l'aimantation du corps ait atteint un maximum, ce qui correspond au phénomène de la *saturation*.

Corps magnétiques. — Si on suppose que la susceptibilité magnétique du vide soit nulle, les corps dits *magnétiques* seront par définition ceux dont la susceptibilité magnétique sera positive, ou dont la perméabilité sera plus grande que 1.

Corps diamagnétiques. — Ce seront les corps dont la susceptibilité magnétique sera négative et la perméabilité plus petite que 1.

On ne connaît aucun corps dont la perméabilité soit négative. Celle du bismuth, qui est le plus diamagnétique des corps, ne diffère de l'unité que de $\frac{1}{400000}$.

Il en résulte que le **DIAMAGNÉTISME** n'est pas dû à un état atomique des corps, ainsi que le supposait de La Rive, mais qu'un corps paraît diamagnétique ou magnétique suivant le milieu dans lequel il est plongé.

Direction du flux dans un tube d'induction. — Elle est donnée par l'orientation que prend une petite aiguille aimantée suspendue au milieu d'un tube par son centre de gravité et dont les pôles ont été reconnus par rapport à la terre.

Propriétés fondamentales des tubes d'induction. — Elles ont été énoncées par Faraday et toujours vérifiées par l'expérience.

Un tube d'induction tend toujours à se raccourcir. Deux tubes parallèles dans lesquels le sens du flux est le même se repoussent. Ils s'attirent au contraire si le sens du flux est différent dans chacun d'eux.

Champ magnétique d'un courant électrique. — On sait qu'un solénoïde est constitué par un système de courants élémentaires égaux et de même sens, infiniment rapprochés et perpendiculaires à la ligne qui joint leurs centres.

L'expérience montre que le **MOMENT MAGNÉTIQUE** d'un solénoïde est proportionnel à l'intensité i du courant, à la surface s de l'un des courants élémentaires et à leur nombre n .

Si nous désignons par m le moment de l'aimant équivalent, nous aurons

$$m = nis.$$

Si nous désignons par a la distance de deux courants consécutifs, on a

$$a = \frac{l}{n},$$

et

$$m = \frac{is}{a},$$

d'où

$$ma = is.$$

Il en résulte que chacun des courants pourra être remplacé par un aimant de longueur a et de moment magnétique $ma = is$.

La densité magnétique superficielle des bases du solénoïde sera

$$s = \frac{m}{a} = \frac{i}{a}.$$

Assimilation d'un courant à un feuillet magnétique. — Considérons un courant fermé de forme quelconque et d'intensité i , et partageons la surface S

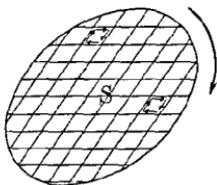


Fig. 4.

limitée par lui en éléments dS (fig. 4). Nous pouvons supposer que le contour de chacun de ces éléments soit parcouru par un courant de même sens et de même intensité que le premier. En effet, toutes les portions de courant qui circuleraient sur les traits du quadrillage intérieur se détruiraient deux à deux, et il ne restera que le courant qui circule sur le contour extérieur. Chacun des courants élémentaires pourra être remplacé par un petit aimant dont le moment magnétique sera $i dS$.

La section magnétique du circuit sur un point extérieur pourra donc être représentée par celle de deux surfaces magnétiques parallèles dont les éléments correspondants seraient chargés de quantités de magnétisme égales et de signes contraires.

L'ensemble de ces deux surfaces constitue ce qu'on appelle un *feuillet magnétique*.

Si on désigne par :
 μ la densité magnétique superficielle en un point;
 a la distance des deux surfaces;
 Le produit $\mu a = i$ est la *puissance magnétique* d'un feuillet.

Dans le cas d'un courant, on a

$$\mu a = i,$$

d'où

$$\mu = \frac{i}{a}.$$

Il en résulte que :

Un courant peut être remplacé par un feuillet magnétique dont la puissance est numériquement égale à l'intensité du courant et dont le contour est le même que celui du courant.

Bobine cylindrique. — Désignons par

s sa section;

L sa longueur;

n le nombre de tours de fil;

i l'intensité du courant qui parcourt le conducteur.

On peut remplacer, comme plus haut, chacune des spires par une série de courants élémentaires compris dans le contour de la spire de même sens et de même intensité que le courant général.

La bobine pourra donc être assimilée à un faisceau de solénoïdes élémentaires parallèles à son axe.

Son action sur les points extérieurs se réduira donc à celle de deux couches élémentaires $\pm M$ égales et de signes contraires uniformément réparties sur les bases du cylindre, et on aura

$$ML = niis,$$

ou

$$M = \frac{n}{L} is.$$

Quant au nombre de tubes d'induction qui traverseront la section du cylindre, il sera, d'après Green

$$N = 4\pi nI = \frac{4\pi niis}{L}.$$

Electro-aimants. — Si le noyau de la bobine est constitué par une barre de fer dont la perméabilité soit μ , le nombre de lignes de force qui traverseront la section S du noyau sera

$$N = \frac{4\pi nI}{L} \mu.$$

Le coefficient μ varie, comme nous l'avons dit, avec l'intensité du champ.

Bobine annulaire (anneau Gramme). — Considérons un anneau de section rectangulaire, entouré de courants égaux et équidistants. Nous pouvons encore décomposer le système en une série de solénoïdes élémentaires. Ils seront de longueurs différentes, mais l'intensité du courant qui les composera sera constante.

Appelons :

dS la section de l'un de ces solénoïdes;

r sa distance à l'axe;

dN le nombre des tubes d'induction qui traversent sa section.

Sa longueur sera $2\pi r$, et on aura

$$dN = 4\pi ni \frac{dS}{2\pi r} = 2ni \frac{dS}{r}$$

$$N = 2ni \int \frac{dS}{r}.$$

Si b est la hauteur de l'anneau, a son épaisseur et r son rayon intérieur, on a

$$dS = bdr,$$

$$N = 2ni \int_R^{R+a} \frac{R+a}{r} b \frac{dr}{r} = 2\pi ni b \frac{R+a}{R}.$$

Si le noyau de la bobine est en fer et a une perméabilité μ , on aura

$$N = 2\pi ni b \mu \frac{R+a}{R}.$$

Potentiel d'un feuillet magnétique en un point.

— Considérons un élément de feuillet AA' BB' de section dS (fig. 5).

Soit r la distance du point P au centre O de la face AA'; $r + dr$ la distance du même point P au centre

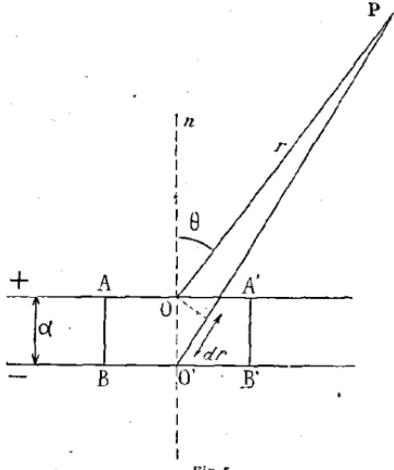


Fig. 5.

O de la face BB'; σ la densité magnétique le long de AA' et BB'; V le potentiel au point P; $\phi = \sigma \alpha$ la puissance magnétique du feuillet, nous aurons

$$dV = \frac{\sigma dS}{r} = \frac{\phi dS}{r + dr}$$

ou

$$dV = \phi dS \frac{dr}{r^2}$$

Appelons θ l'angle que fait la droite PO avec la normale On, nous aurons

$$dr = \alpha \cos \theta,$$

d'où

$$dV = \sigma \frac{dS \cos \theta}{r^2} = \phi \frac{dS \cos \theta}{r^2}$$

Décrivons du point P, comme centre, un cône d'ouverture $d\omega$ et découpant sur le feuillet la surface AA', on aura

$$r^2 d\omega = dS \cos \theta,$$

d'où

$$dV = \phi d\omega,$$

$$V = \phi \omega.$$

Il en résulte que :

Le potentiel dû à un feuillet magnétique en un point extérieur est égal au produit de la puissance magnétique du feuillet, par l'angle solide sous lequel on voit de ce point la face positive du feuillet.

THÉORÈMES.

1° Le travail fourni par un déplacement relatif d'un système magnétique et d'un feuillet est égal au produit de la puissance magnétique du feuillet par la variation du nombre des tubes de force qui éma-

nent du système et pénètrent dans le feuillet par sa face négative.

Nous avons vu que l'on avait

$$dV = \phi \frac{dS \cos \theta}{r^2}$$

Si au point P se trouve une masse magnétique m , l'énergie potentielle dW de cette masse, due à l'élément dS , sera

$$dW = \frac{m\phi dS \cos \theta}{r^2}$$

$\frac{m}{r^2} \cos \theta$ est la composante normale à l'élément dS de la force exercée au point O par la masse m ; si nous la désignons par h , nous aurons

$$dW = h dS.$$

Or $h dS$ est le nombre des tubes d'induction qui traversent l'élément dS en pénétrant par sa face positive. L'énergie potentielle de la masse m et du feuillet de surface S aura pour valeur, en appelant N le nombre des tubes d'induction issus de la masse m qui traversait le feuillet en pénétrant par sa face positive

$$W = \phi N.$$

Cela s'applique immédiatement à un nombre de masses quelconques. Or, on sait que le travail fourni au cours d'un déplacement relatif des masses agissantes est égal et de signe contraire aux variations correspondantes du potentiel. Notre théorème est donc démontré.

2° On établirait, d'une manière analogue, que :

Lorsque l'on fait varier la position relative de deux feuillettes magnétiques, le travail fourni est égal à la variation du nombre de tubes d'induction qui émanent de l'un des feuillettes et pénètrent dans le second par sa face négative.

Aimantation du fer et de l'acier. Procédés industriels. — On trouvera au mot COURANT l'énoncé du principe de l'aimantation par les courants; il nous reste à indiquer les méthodes industrielles actuellement suivies.

On se sert généralement aujourd'hui, pour fabriquer les aimants artificiels, de gros ÉLECTRO-AIMANTS dont les noyaux ont de 0^m,05 à 0^m,06 de diamètre sur 0^m,50 à 0^m,60 de hauteur, et sont recouverts d'un grand nombre de tours de fil isolé de 0^m,003 à 0^m,004 de diamètre. On intercale l'électro-aimant dans le circuit d'une machine dynamo à courant continu. Les extrémités supérieures des noyaux de cet électro sont constituées par deux grosses masses de fer doux qui, au moyen de boulons et d'écrous, peuvent être fixées plus ou moins près l'une de l'autre, suivant la dimension des pièces à aimanter. Il suffit de placer les pôles futurs des aimants à fabriquer sur les masses de fer doux et de faire passer le courant pendant quelques secondes.

D'autres constructeurs se servent, pour fabriquer les aimants en forme de fer à cheval destinés aux machines magnéto-électriques, de gros électro-aimants comme ceux décrits ci-dessus; ils placent l'aimant à fabriquer à plat sur les masses de fer doux, de sorte que la courbure du fer à cheval soit très près des pôles de l'électro. Alors, on tire l'aimant en le faisant glisser jusqu'à l'extrémité de ces masses. On recommence ainsi plusieurs fois; puis, on retourne l'aimant sens dessus dessous dans le sens de sa longueur, et on le tire de nouveau; mais en sens contraire. Il arrive souvent que cette traction exige une force considérable.

La première de ces deux méthodes nous paraît largement suffisante quand l'électro-aimant est très énergique.

Pour les barreaux aimantés droits, on se sert également d'un procédé dû à M. Elias, et qui consiste à introduire le barreau dans une bobine intercalée dans un circuit et à promener la bobine alternativement dans les deux sens, d'une extrémité du barreau à l'autre.

Rappelons ici que non seulement l'aimantation peut se transmettre par contact ou par frottement d'un aimant naturel à un barreau de fer ou d'acier, mais que des morceaux de fer restés pendant longtemps exposés aux influences atmosphériques, qui ont été linéaires, tordus, martelés ou laminés, les rails de chemins de fer, les chaînes des ponts suspendus, les croix de fer des clochers, etc., manifestent des propriétés magnétiques remarquables.

On s'est longtemps imaginé que l'attraction magnétique ne s'exerçait que sur le fer et quelques autres corps, tels que le nickel, le cobalt, etc.; mais des observations récentes ont démontré que toutes les substances sont influencées par les aimants, bien qu'à des degrés divers et dans des sens différents. Ces influences, tantôt attractives, tantôt répulsives, ont fait donner aux corps qui éprouvent les premières le nom de corps MAGNÉTIQUES, et aux autres celui de corps DIAMAGNÉTIQUES (soufre, plomb, bismuth, etc.). La plupart des substances métalliques et végétales, telles que l'or, l'argent, le bois, le verre, etc., réduites en minces aiguilles, oscillent sous l'action de forts barreaux aimantés. Coulomb, à qui l'on doit de très importantes observations sur le magnétisme, a cherché, en faisant des mélanges de zinc et de fer, quelle était la proportion de métal nécessaire à la manifestation des phénomènes magnétiques, et il a trouvé qu'il suffisait de la présence de $\frac{1}{13300}$ de fer pour que l'un de ces phénomènes fût sensible. On a ainsi constaté, par une série de très curieuses et très délicates expériences, les facultés magnétiques proportionnelles de différents corps, et l'on a pu en déduire, entre autres résultats remarquables, que les matières organiques manifestent un magnétisme spécifique relativement considérable.

Pour interpréter les phénomènes magnétiques, on les attribua autrefois à l'action de deux fluides doués de propriétés contraires, résidant autour des molécules du fer et dont la réunion formerait le fluide magnétique neutre; cette hypothèse est aujourd'hui abandonnée. La question de la *théorie des fluides* a été traitée complètement au mot FLUIDE.

Les attractions et les répulsions magnétiques sont régies par les mêmes lois que celles qui proviennent de l'électricité, c'est-à-dire qu'elles varient en raison inverse du carré de la distance. (V. LOI.)

MAGNÉTISME DE ROTATION. — Nom sous lequel on désigne un ensemble de phénomènes dont voici l'exposé :

¹ En 1824, Gambey remarqua que les oscillations d'une AIGUILLE AIMANTÉE cessaient beaucoup plus vite quand elle était suspendue dans le voisinage d'un disque de cuivre épais.

² A la même époque, Arago constata que les oscillations d'une aiguille aimantée placée dans une boîte de cuivre décroissaient avec une très grande rapidité quand l'aiguille se rapprochait du fond de la boîte, comme si l'aiguille se trouvait, près de ce fond, plongée dans un liquide visqueux. Il en conclut que, puisque le voisinage de la plaque de cuivre ralentissait les oscillations d'un aimant, la plaque en mouve-

ment pourrait entraîner l'aimant. L'expérience confirma son hypothèse et ce fut le point de départ de toute une branche de la physique, qui a reçu le nom de **magnétisme de rotation**. L'observation d'Arago avait déjà été faite au siècle dernier, et elle est indiquée à la page 33 du *Dictionnaire encyclopédique des Amusements des sciences mathématiques et physiques* (Paris, 1782), en ces termes : « Un navigateur anglais a rapporté avoir observé que du sel tombé sur la glace qui recouvre une sousole troublait l'aiguille aimantée et que le hillon produisait le même effet. »

³ Babbage et Herschell firent l'expérience suivante : ils placèrent en équilibre sur un pivot, un disque de cuivre horizontal au-dessus d'un aimant vertical en fer à cheval séparé du disque par une membrane. Lorsqu'on faisait tourner l'aimant, le disque horizontal était entraîné.

⁴ Faraday, renversant l'expérience de Gambey, constata que le voisinage d'un aimant immobile arrêtait le mouvement d'un métal tournant : il plaça entre les pôles d'un ÉLECTRO-AIMANT un cube de cuivre suspendu par un fil de torsion. En tordant le fil et en le laissant ensuite détorde, il communiquait au cube de cuivre un mouvement de rotation rapide; mais ce mouvement s'arrêtait dès que l'on faisait passer un courant dans l'électro-aimant.

Tous ces phénomènes recurent, comme nous l'avons dit, le nom de *magnétisme de rotation*, et Faraday les expliqua en 1831 par la réaction des courants que l'aimant induit dans le disque quand il y a mouvement relatif. Conformément à la loi de Lenz (v. INDUCTION), le mouvement dont est animé le disque fait naître, dans ce dernier, des courants qui tendent à s'opposer à ce mouvement ou à produire par réaction sur l'INDUCTEUR un mouvement contraire. Cela est tellement vrai que, si on empêche totalement ou en partie la formation des courants induits, le phénomène cesse ou diminue. Ajoutons que l'entraînement de l'aiguille aimantée décroît en même temps que la conductibilité du disque tournant et cesse complètement lorsque le disque est en verre, ou quand on scie le disque de cuivre de manière à le diviser en secteurs n'adhérant entre eux que par le sommet. Enfin l'induction est nulle sur un cylindre métallique fendu que l'on introduit dans une bobine.

L'existence des courants d'induction dans un disque en mouvement a été démontrée directement par Faraday, qui les a recueillis en renversant l'expérience de la roue de Barlow. (V. BARLOW [Roue de].)

MAGNÉTISME REMANENT. — Magnétisme que reçoivent toujours en quantité plus ou moins forte un morceau de fer qui a été placé dans le voisinage d'un aimant, ou seulement parallèlement à l'aiguille d'INCLINAISON. (V. HYSTÉRÉSIS.)

MAGNÉTISME TERRESTRE. — Action du globe sur les aimants.

La Terre se comporte comme un aimant. Les premiers phénomènes observés ont été la *déclinaison*, probablement connue des navigateurs du xv^e siècle, et l'*inclinaison*, découverte en 1576 par Robert Norman. La *déclinaison* est l'angle formé par l'aiguille horizontale avec le méridien du lieu où l'on observe; l'*inclinaison* est l'angle formé avec l'horizontale par l'aiguille mobile dans le plan du *MEMBRE MAGNÉTIQUE* autour d'un axe horizontal passant par son centre de gravité. Les appareils destinés à fournir ces deux éléments d'observations ont été appelés *BOUSSOLE de déclinaison* et *BOUSSOLE d'inclinaison*. On nomme *FOURTEUIL MAGNÉTIQUE* la courbe qui passe par tous les points où l'inclinaison est nulle, et *PÔLES MAGNÉ-*

ques les points où l'inclinaison est de 90°. L'équateur magnétique coupe l'équateur terrestre en deux points presque diamétralement opposés, l'un dans le grand Océan, l'autre dans l'océan Atlantique; mais ces points ne sont pas absolument fixes. Le pôle magnétique boréal est situé au nord de l'Amérique septentrionale par 70° 10' de latit. N. et 100° 40' de longit. O. Le pôle magnétique austral est au sud de la Nouvelle-Hollande, par 75° de latit. N. et 136° de longit. E. On a remarqué que l'intensité du magnétisme terrestre augmente à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur magnétique, et que cette intensité décroît quand on s'élève dans l'atmosphère. Indépendamment des variations irrégulières et des perturbations accidentelles qu'elle éprouve sous l'influence de certains phénomènes, tels que les aurores boréales, elle présente encore, et cela d'une manière régulière, des variations périodiques en rapport avec les heures de la journée; ainsi, elle atteint son maximum entre quatre et cinq heures du soir, et son minimum entre dix et onze heures du matin. Les anciennes théories considéraient la Terre comme un véritable aimant agissant à distance; on pense aujourd'hui que la Terre est seulement aimantée, et l'on trouve l'explication de son état magnétique dans les courants électriques qui circulent autour d'elle, et qui, sans doute, sont produits par les courants calorifiques engendrés par l'insolation successive des fuseaux qui composent sa surface.

Intensité du magnétisme terrestre.

— On mesure cette intensité en se servant de la méthode des oscillations. Supposons d'abord une aiguille aimantée MN dans le plan du MÉRIDIEN MAGNÉTIQUE, et écartons-la d'un angle α (fig. 1): la force qui agit sur l'aiguille est la composante horizontale H de l'action terrestre T, de sorte que: $H = T \cos i$ (i étant l'angle d'inclinaison).

L'aiguille, étant en OA, sera ramenée vers ON par une force égale à la composante de H dirigée suivant la tangente au cercle décrit par un point quelconque de l'aiguille; cette tangente a pour valeur $H \sin \alpha$. Si on désigne par s l'arc NA, par m la MASSE du point A, par F la force exercée en ce point, on aura

$$m \frac{d^2s}{dt^2} = -A.$$

D'un autre côté on a, en appelant m , la MASSE MAGNÉTIQUE du point A

$$F = H \sin \alpha \times m,$$

d'où, en posant $OA = r$

$$m \frac{d^2s}{dt^2} = m r \frac{d^2\alpha}{dt^2} = -m H \sin \alpha.$$

Multiplions par r , il vient

$$m r^2 \frac{d^2\alpha}{dt^2} = -m r^2 H \sin \alpha.$$

Pour tous les points de la même barre il viendra

$$\Sigma m r^2 \frac{d^2\alpha}{dt^2} = -H \sin \alpha \Sigma m r^2.$$

$\Sigma m r^2$ n'est autre chose que le moment d'inertie du barreau, $\Sigma m r^2$ est le moment magnétique μ de l'aiguille.

Si les oscillations sont très petites, on peut remplacer $\sin \alpha$ par α , et, en posant

$$N^2 = \frac{\mu H}{\Sigma m r^2},$$

on a

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\frac{\mu H \alpha}{\Sigma m r^2} = -N^2 \alpha,$$

d'où l'on tire en intégrant

$$\alpha = A \cos Nt + B \sin Nt.$$

Calculons les constantes A et B.

Au début on a dévié l'aiguille d'un angle α_0 . Donc pour $t = 0$, on a $\alpha = \alpha_0$, en ce moment la vitesse est nulle, donc

$$\frac{d\alpha}{dt} = 0,$$

On a ainsi

$$\alpha_0 = A \text{ et } B = 0,$$

d'où en définitive

$$\alpha = \alpha_0 \cos Nt.$$

Telle est l'équation du mouvement.

Quant à la durée t d'une oscillation, elle est

$$t = \frac{2\pi}{N} = \frac{2\pi \sqrt{\Sigma m r^2}}{\sqrt{\mu H}},$$

d'où enfin

$$\mu H = \frac{4\pi^2 \Sigma m r^2}{t^2}.$$

Si le moment magnétique μ est connu, on pourra calculer H.

Supposons maintenant qu'on transporte la même aiguille en divers points de la Terre; en employant la formule trouvée, on aura les rapports de ces intensités H, H', H'' en ces divers points.

Pour calculer la valeur absolue de l'intensité, Gauss a employé la méthode suivante: Il prenait deux barreaux l'un $a'b'$ dans le plan du méridien magnétique, l'autre ab perpendiculaire à ce plan (fig. 2). Calculons d'abord l'action de ab sur a' : les actions des pôles a et b sur a' sont égales et de sens opposés, la résultante est perpendiculaire à $a'b'$; l'action de b est

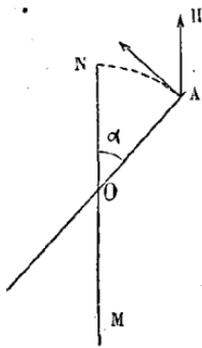


Fig. 1.

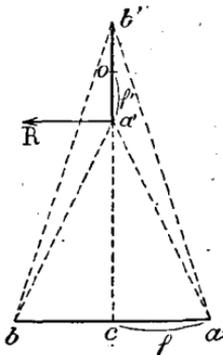


Fig. 2.

proportionnelle aux masses magnétiques m et m' de b et de a' et en raison inverse d'une certaine puissance n de la distance r . C'est donc $\frac{mm'}{r^n}$. Projétons cette force sur la direction de la résultante; on a, en appelant α l'angle $ba'R$

$$\frac{mm'}{r^n} \sin \alpha = \frac{mm'l}{r^{n+1}}$$

L'action de a sur a' est la même et s'ajoute; la résultante est donc

$$\frac{2mm'l}{r^{n+1}}$$

le moment par rapport à o est

$$\frac{2mm'l^2}{r^{n+1}}$$

$2ml = \mu$ est le moment magnétique de ab ;
 $2m'l = \mu'$ est le moment magnétique de $a'b'$;
On peut donc écrire

$$\frac{\mu\mu'}{2r^{n+1}}$$

L'action de a sur b' s'ajoute à la précédente pour faire tourner l'aiguille; son moment s'ajoute au précédent et l'on a

$$\frac{\mu\mu'}{2} \left[\frac{1}{r^{n+1}} + \frac{1}{r^{n+1}} \right] = \frac{\mu\mu'}{2} [r^{-(n+1)} + r^{-(n+1)}]$$

Posons $oa = d$; comme les aiguilles sont très petites et leur distance assez grande, on peut remplacer r par $d - l$ et r' par $d + l$; on a alors

$$\frac{\mu\mu'}{2} [(d-l)^{-(n+1)} + (d+l)^{-(n+1)}]$$

l étant petit, on peut négliger dans le développement les termes qui le contiennent et alors l'expression se réduit à

$$\frac{\mu\mu'}{2} 2d^{-(n+1)}$$

ou

$$\frac{\mu\mu'}{d^{n+1}}$$

Preons maintenant une autre disposition: $a'b'$ restant dans la même situation et ab étant placé comme

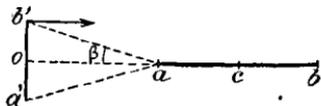


Fig. 3.

l'indique la fig. 3, l'action de a sur $a'b'$ est celle d'un couple d'intensité $\frac{mm'}{r^n}$, sa composante perpendiculaire à $a'b'$ est

$$\frac{mm'}{r^n} \cos \beta;$$

mais

$$\cos \beta = \frac{d-l}{r}$$

Le moment du couple est donc

$$\frac{mm'}{r^n} r \frac{d-l}{r}$$

Quant au moment du couple qui représente l'action de b sur $a'b'$, il a pour expression

$$\frac{mm'}{r^n} r \frac{d+l}{r}$$

Ces deux couples agissent en sens contraire; le moment résultant est donc

$$2mm'l \left[\frac{d-l}{r^{n+1}} - \frac{d+l}{r^{n+1}} \right]$$

Remplaçons r par $(d-l)$ et r' par $(d+l)$ et l'expression se réduit à

$$\frac{2ml \mu m' l n}{d^{n+1}}$$

Ce moment est égal à n fois le précédent.

Supposons qu'on place deux barreaux dans les positions indiquées; on observera des déviations α et α' et l'on aura: $\alpha' = n\alpha$. Or par l'observation on trouve $\alpha' = 2\alpha$ donc $n = 2$, et les moments calculés précédemment sont

$$\frac{\mu\mu'}{d^3} \text{ et } \frac{2\mu\mu'}{d^3}$$

Si on veut calculer μ_H , action de la Terre, on prendra une des expériences de Gauss. Le moment de l'action du barreau sur l'aiguille est $\frac{\mu\mu'}{d^3}$; quand il y a équilibre cette action est équivalente à celle de la Terre qui est $\mu_H \sin \delta$ (δ étant l'angle de déviation); donc

$$\mu_H \sin \delta = \frac{\mu\mu'}{d^3}$$

ou

$$\mu_H \sin \delta = \frac{\mu\mu'}{d^3}$$

Pour avoir μ' , on fait osciller le barreau sous l'influence de la Terre, alors

$$\mu_H^2 = \frac{4\pi^2 \mu^2 m^2}{\Delta^3}$$

Ces deux équations permettent de calculer μ' et H .

Cartes magnétiques. — L'étude du magnétisme terrestre est vivement poussée depuis quelques années, et l'on a déjà obtenu des résultats fort intéressants grâce à l'emploi des instruments enregistreurs et à lecture directe imaginés par M. Mascart. Ces instruments fonctionnent avec la plus grande régularité dans plusieurs localités.

Depuis 1883 M. Mascart a organisé à Saint-Manr, sous sa direction immédiate un service magnétique complet; le dépouillement des courbes des enregistreurs et tous les calculs sont effectués chaque jour; les lectures directes ont lieu à huit heures du matin, une heure et six heures du soir. On a pu ainsi dresser les *Cartes magnétiques de la France, c'est-à-dire*

TABLEAU :

- 1° Les lignes d'égalité de déclinaison;
- 2° Les lignes d'égalité de composante horizontale;
- 3° Les lignes d'égalité d'inclinaison;
- 4° Les méridiens magnétiques.

Nous reproduisons ici les quatre cartes dressées en 4er janvier 1885. En 1885 on a fait 101 mesures absolues de déclinaison, 90 de composante horizontale et 77 d'inclinaison.

Voici d'ailleurs le texte même de la note de M. Th. Moureaux relative à ces observations et présentée à l'Académie des Sciences par M. Mascart, en juin 1884.

« Les observations qui ont servi à dresser de nouvelles cartes magnétiques ont été effectuées pour la

plupart en 1884 et 1885 sous la direction de M. Mascart. Elle se rapporte à 78 stations disséminées dans les diverses régions de la France. On a fait usage de deux appareils, de dimensions réduites, construits spécialement pour le voyage par MM. Brunner, savoir : un théodolite-boussole servant à mesurer la DÉCLINAISON et la composante horizontale, et une BOUSSOLE D'INCLINAISON. On s'est toujours installé en rase campagne, à distance des usines, des lignes de chemins de fer, etc.

Le méridien géographique a été déterminé exclusivement par l'observation du Soleil dans le voisinage du premier vertical. L'azimut du MÉRIDIEN MAGNÉTIQUE a été déduit de la moyenne des lectures du barreau, dans les diverses positions que comporte une observation complète. La composante horizontale a

été conclue en combinant les oscillations qui donnent le produit de la composante par le MOMENT MAGNÉTIQUE du barreau, avec les expériences de déviations d'après la méthode de Gauss, qui donnent le rapport de ces deux quantités.

L'INCLINAISON a été observée par la méthode directe, l'aiguille oscillant dans le méridien magnétique. Dans presque toutes les stations on a répété avec le second barreau de la boussole les mesures relatives à la déclinaison et à la composante horizontale.

Les résultats ont été ramenés au 1^{er} janvier 1885, par comparaison avec les courbes de variations relevées au MAGNÉTIGRAPHES de l'observatoire du parc de Saint-Maur. Les observations sont résumées dans le tableau suivant :

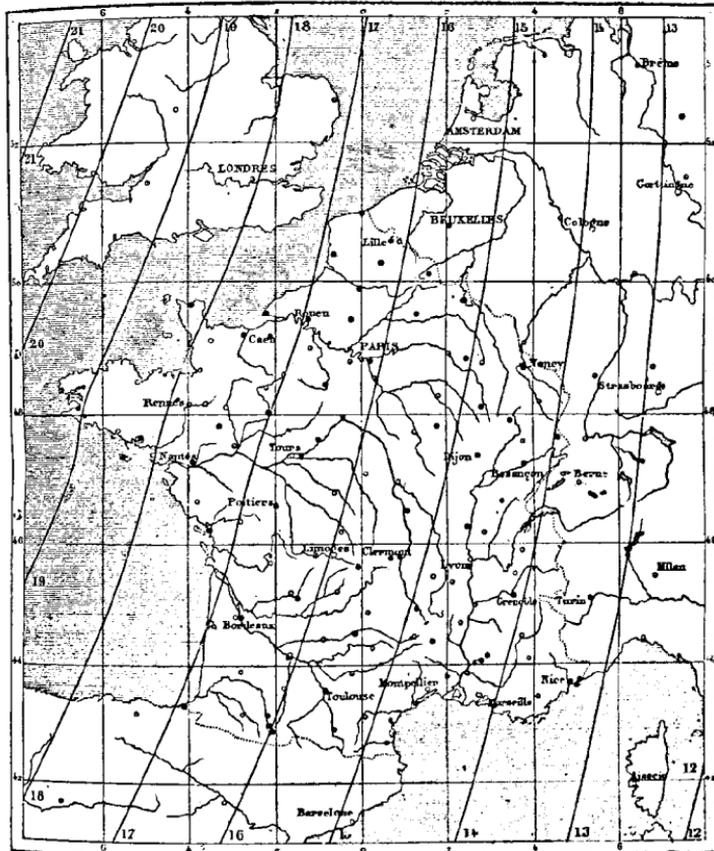
STATIONS.	DÉCLINAISON.	COMPONENTE horizontale.	INCLINAISON.	STATIONS	DÉCLINAISON.	COMPONENTE horizontale.	INCLINAISON.
Agen	16. 7,6	0,21250	62. 0,7	Mâcon	14. 39,4	0,20632	63. 6,2
Amiens	16. 34,7	0,15889	66. 8,0	Mans (Le)	17. 1,2	0,10382	65. 2,2
Arras	16. 12,2	0,18843	66. 18,7	Marseille (observat.)	14. 0,0	0,22027	60. 25,9
Avignon	15. 33,2	0,18923	66. 4,5	Mézières	15. 16,2	0,19135	65. 13,9
Avignon	14. 23,2	0,21683	61. 8,4	Monaco	13. 16,5	0,21857	60. 11,2
Bagnères-de-Bigorre	16. 7,5	0,21680	61. 9,5	Montbrison	14. 57,2	0,20676	62. 36,0
Baisieux (Nord)	16. 1,9	0,18700	66. 26,0	Montfort-sur-Meu	17. 57,1	"	"
Beauvais	16. 31,5	0,19106	65. 50,3	Montmélan (Savoie)	"	0,21052	62. 20,8
Belfort	13. 59,8	0,20207	63. 55,5	Moulins	15. 25,6	0,20412	63. 30,1
Bercy-sur-Mer	16. 52,9	0,18634	66. 35,0	Mural	14. 50,1	0,21835	60. 53,0
Besançon (observ.)	14. 16,4	0,20320	63. 46,2	Nancy	14. 26,2	0,19619	64. 56,8
Bismes (Marne)	15. 0,7	0,19048	64. 55,7	Nantes (observat.)	17. 37,2	0,19797	64. 22,4
Bordeaux (Floirac)	16. 45,7	0,20902	62. 41,8	Nice (observatoire)	13. 17,8	0,21061	60. 35,5
Bruxelles (nouv. obs.)	15. 26,4	0,18690	66. 33,6	Palais (Belle-Ile)	18. 26,0	0,19534	65. 4,8
Caen	17. 31,0	0,19083	65. 52,6	Parc St-Maur (obs.)	16. 10,2	0,19130	65. 17,3
Capdenac	15. 38,4	0,21153	62. 4,8	Périgueux (Niversac)	16. 8,0	0,20847	62. 44,9
Carpentras	14. 16,3	0,21639	61. 15,0	Perpignan (observ.)	14. 53,4	0,22125	60. 25,0
Cemboing (H.-Savoie)	14. 26,5	0,20035	64. 13,7	Pic du Midi (obs.)	15. 8,9	0,21632	61. 0,0
Cette	14. 44,9	0,21841	66. 50,2	Poitiers	16. 40,8	0,20177	63. 55,6
Chartres	16. 20,59	0,19559	65. 9,7	Pay-de-Dôme (obs.)	15. 7,1	0,21388	63. 53,0
Chaumont	14. 50,5	0,19883	64. 28,1	Quimper	18. 57,5	"	"
Chelles (S.-el-M.)	16. 5,3	0,19119	65. 21,6	Rennes	17. 47,0	0,19426	65. 49,3
Cherbourg	28. 42,4	0,18758	66. 25,3	Rochelle (La)	17. 15,9	0,20260	63. 50,6
Clermont (observat.)	15. 25,0	0,20691	62. 52,1	Rouen	16. 58,0	0,19647	60. 1,3
Conquet (Le)	19. 25,1	0,19113	65. 57,5	Saint-Brieuc	18. 26,1	"	"
Cosne	"	0,20021	64. 17,5	Saint-Lô	"	"	65. 56,0
Dijon	14. 45,2	0,20193	63. 53,4	St-Colomb (Vaucl.)	14. 16,6	0,21606	61. 13,4
Douarnenez	19. 12,2	"	"	Savenay	17. 54,9	"	67. 54,9
Dunkerque	16. 33,4	0,18160	66. 53,4	Segré	17. 22,4	0,19670	64. 55,7
Grenoble	14. 11,0	0,21205	62. 6,9	Stains (Seine)	16. 9,0	0,19514	65. 26,5
Haure (Le)	17. 17,9	0,18963	66. 5,9	Tarbes	16. 7,3	0,21581	61. 15,2
Hendaye (Abbadia)	16. 53,3	0,21548	61. 43,4	Tonnerre	15. 12,4	0,19960	64. 24,3
Lamballe	"	0,19231	65. 38,7	Toulouse (observ.)	15. 41,5	0,21551	61. 23,9
Landerneau	19. 5,7	"	"	Tours (Montlouis)	16. 43,2	0,19863	64. 33,7
Langac (H.-Loire)	19. 59,0	0,21084	65. 21,7	Vannes	18. 11,5	"	"
Laon	15. 48,7	0,19117	65. 49,4	Ventoux (observat.)	14. 45,2	0,21585	61. 16,1
Lille	16. 5,8	0,18710	66. 29,6	Villefort (Lozère)	14. 41,1	0,21571	61. 44,3
Lisieux	17. 5,3	0,19125	65. 49,3	Villefranche-s.-Mer.	13. 16,8	0,21935	60. 33,9
Lyon (observatoire)	14. 37,8	0,20881	62. 36,6	Vitré	17. 41,7	"	"

Déclinaison (Carte 1). — La déclinaison est minimum à Belfort (15° 59' 8") et maximum au Conquet (19° 25' 1"). Dans le nord de la France, elle varie d'environ 39' par degré de longitude; cette variation est moindre dans le Midi. La différence de déclinaison

entre deux points de distances données sur le même parallèle augmente avec la latitude, et les lignes isocoxes sont plus resserrées dans le Nord que dans le Midi. La carte des lignes d'égalité déclinaison présente une particularité remarquable : en Bretagne, les cour-

bes n'ont pas la même allure que sur le reste du réseau, et cette anomalie est confirmée par un grand nombre d'observations. En comparant la carte actuelle avec celle que Lamont a construite pour le mois de mars 1854, on trouve que, dans cet intervalle, la déclinaison

a diminué de $3^{\circ} 58'$ dans le Nord, et de $3^{\circ} 49'$ seulement dans le Midi. La variation moyenne annuelle de la déclinaison pendant cette période est de $-6,5$ à Nice, $-7,4$ à Paris, $-7,7$ à Lille; elle semble augmenter d'une manière assez régulière du sud-sud-est



1. — Carte des lignes d'égalité déclinaison au 1^{er} janvier 1853.

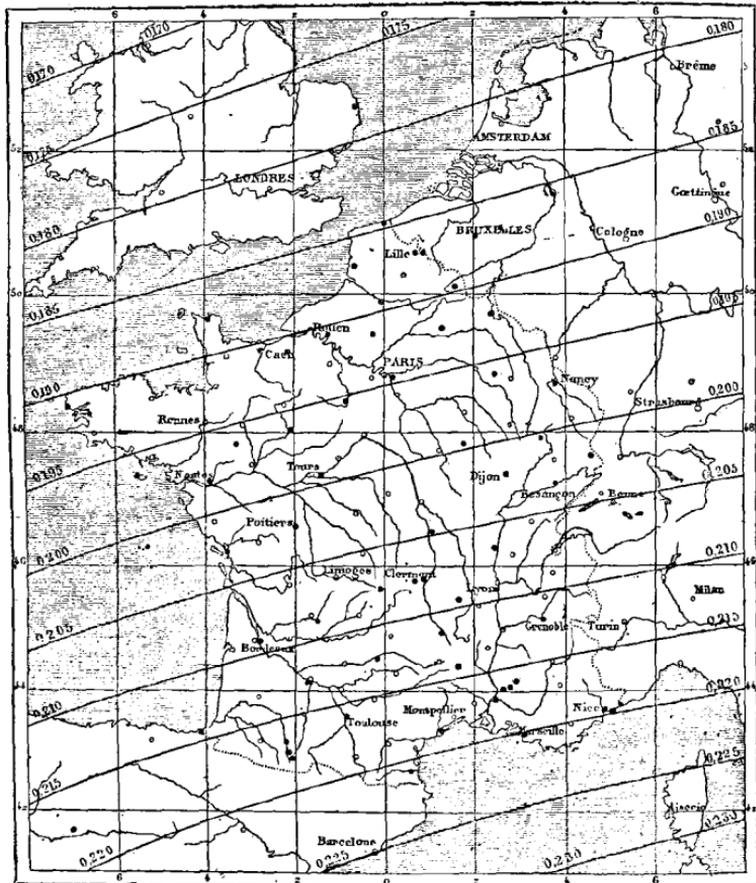
au nord-nord-ouest, ou plus exactement dans la direction approchée du nord magnétique; par suite, les courbes d'égalité déclinaison ne se déplacent pas parallèlement à elles-mêmes, mais se rapprochent peu à peu des méridiens géographiques.

Composante horizontale (Carte 2). — Le minimum (0,18160) a été observé à Dunkerque, le maximum (0,22124) à Perpignan. Les courbes d'égalité composante

horizontale sont à peu près perpendiculaires aux méridiens magnétiques; la décroissance de cet élément est plus rapide au midi qu'au nord, et l'intervalle entre deux lignes consécutives augmente assez régulièrement avec la latitude. Ici encore l'allure des courbes n'est pas uniforme; sur la Manche, leur courbure est beaucoup moins prononcée que dans l'intérieur de la France; cette particularité semble justifiée par toutes

les observations de la région, qui sont nombreuses. La comparaison de la carte actuelle avec la carte de Lamont, construite pour le mois de juin 1848, montre que, dans les trente-six dernières années, la composante horizontale a augmenté de 0,04 à 0,05 de sa

valeur moyenne actuelle en France; la variation annuelle est maximum à l'ouest (+ 0,0027 à Brest, Bordeaux) et diminue faiblement dans la direction de l'est : + 0,00025 à Paris, + 0,00023 à Nice, Mézières. Depuis cette époque, les lignes d'égalé composante



2. — Carte des lignes d'égalé composante horizontale au 1er janvier 1855.

horizontale se sont inclinées vers l'est, on se rapprochant des parallèles géographiques.

Inclinaison (Carte 3). — Les lignes ISOCINES ont sensiblement la même orientation que les lignes d'égalé composante horizontale, c'est-à-dire qu'elles sont à peu près perpendiculaires aux méridiens magnétiques, et l'intervalle entre deux courbes consécutives diminue avec la latitude. La particularité ai-

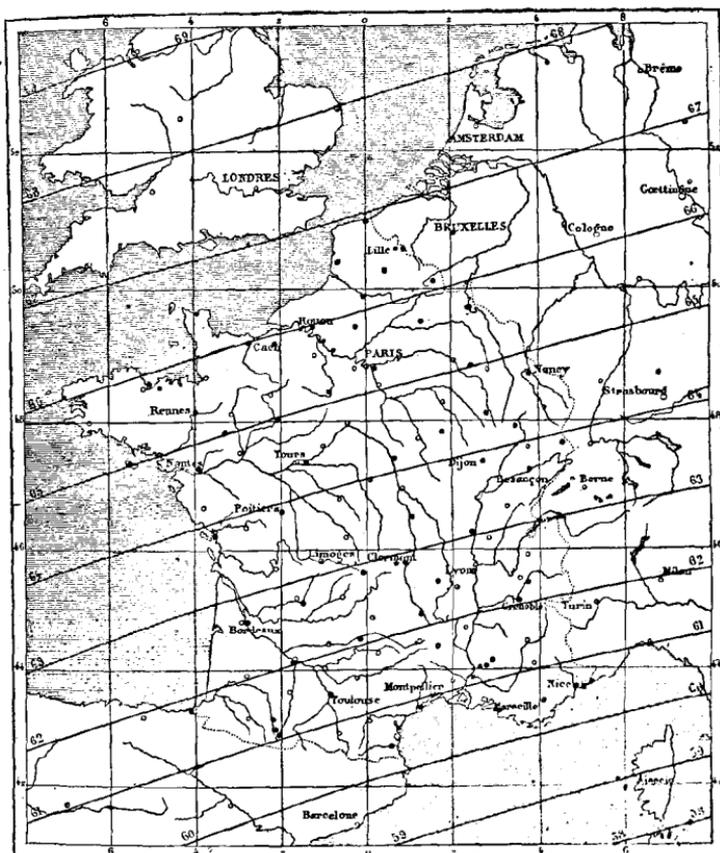
gnalée pour les courbes de la composante horizontale sur la Manche se voit également sur la carte des lignes d'égalé inclinaison. Il résulte de la comparaison de la carte actuelle avec celle de Lamont, établie pour le mois d'août 1848, que, depuis cette époque, l'inclinaison a diminué de $1^{\circ}35'$ dans le nord de la France et de 2° dans le Midi. La variation annuelle est minimum dans le nord-est ($- 2,6$ à Bel-

fort, Mézières); elle augmente peu à peu vers le sud et atteint son maximum le long des Pyrénées et vers le golfe de Gènes (— 3',4 à Marseille, Tarbes, Hendaye).

Les lignes isoclines ne se sont pas non plus dépla-

cées parallèlement à elles-mêmes avec le temps, mais leur direction s'est rapprochée de celle des parallèles géographiques.

Méridiens magnétiques (Carte 4). — Enfin, une construction graphique, répétée dans les deux sens, en



3. — Carte des lignes d'égal inclinaison au 1^{er} janvier 1855.

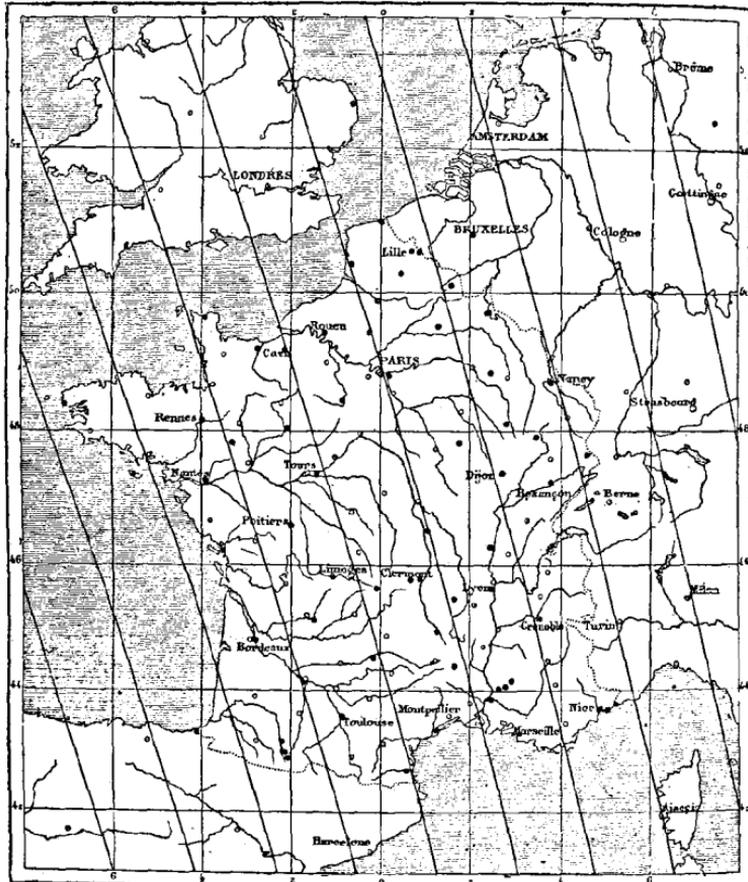
partant du nord ou du sud, nous a permis de tracer la carte des méridiens magnétiques. Bien que le nombre des points d'observation soient relativement considérable, ces cartes ne sont qu'une première approximation, et ne peuvent indiquer que dans ses grands traits la distribution des éléments magnétiques à la surface de la France. Les nombres fournis par l'observation directe résultent, en effet, de l'ac-

tion générale de la Terre et de l'action locale due à la nature spéciale du sol au voisinage de la station. Dans les terrains primitifs ou d'origine volcanique, l'action locale fait subir aux éléments des modifications plus ou moins profondes. C'est ainsi qu'on n'a pas cru pouvoir utiliser pour le tracé des cartes les observations de Murat et du Puy-de-Dôme. La valeur des éléments magnétiques dans la région volcanique cen-

trale ne saurait donc être conclue des lignes qui la traversent. Pour obtenir une représentation exacte des phénomènes, il serait nécessaire d'étudier chaque région en particulier, en multipliant le nombre des points d'observation. Il ne semble pas douteux que,

dans ces conditions, on ne constate d'autres anomalies.»

Dans une nouvelle communication faite à l'Académie des Sciences le 10 janvier 1887, M. Mascart a annoncé que les observations magnétiques ont été



4. — Carte des méridiens magnétiques au 1^{er} janvier 1885.

poursuivies en 1886 à l'Observatoire du parc de Saint-Maur avec les mêmes appareils et d'après les mêmes méthodes que les années précédentes.

Nous donnons ci-après les valeurs absolues des éléments magnétiques au 1^{er} janvier 1887 et au 1^{er} janvier 1888, déduites de la moyenne des observations horaires relevées au magnétographe pendant les journées du 31 décembre 1886 et 1^{er} janvier 1887, du 31 décembre 1887 et 1^{er} janvier 1888 :

	1887	1888
Déclinaison occidentale..	15°57'2" A	5°52'1" A
Inclinaison.....	65 15 6	65 44 7
Composante horizontale..	0 49453	0 49180
Composante verticale....	0 42196	0 42215
Force totale.....	0 46460	0 46520

L'Observatoire est situé par 0° 9' 23" de longit. E. et 48° 48' 34" de latit. N.

Observations faites en Tunisie de 1884 à 1886 par une Commission hydrographique.

LIEUX.	DÉCLINAISON occidentale.	INCLINAISON.	LONGITUDE E.	LATITUDE N.
Bizerte.....	11°43'	53°45'	7°32'20"	37°16'20"
La Goulette.....	11 31	53 8	7 57 24	36 48 20
Sousse.....	11 20	51 58	8 16 2	35 49 56
Sfax.....	11 11	50 44	8 25 32	34 44 4
Gabès.....	11 21	49 34	7 46 38	33 53 27
Ras Ajdir.....	10 50	"	9 13 6	33 9 51

(Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CV, p. 801.)

Relations entre les phénomènes magnétiques et les mouvements du sol. — La relation qui existe entre les phénomènes magnétiques et les mouvements du sol est une des questions scientifiques encore les plus obscures; il est donc intéressant de rapporter ici les observations faites au moment du tremblement de terre du 23 février 1887, qui s'est manifesté avec une grande violence dans le midi de la France, le nord de l'Italie et la Suisse.

Dès le lendemain de la catastrophe, M. Mascart signalait une simultanéité très imprévue des oscillations produites dans les Observatoires de Perpignan, de Lyon, du parc Saint-Maur. M. Offret a étudié la marche de la secousse sur la ligne des chemins de fer de Marseille à Gênes, d'une longueur de 400 kilomètres, en employant la méthode suivante : sur cette ligne, les horloges se réglent une fois par semaine. Tous les mardis, un employé part de Marseille pour Vintimille; il est porteur d'une montre réglée sur le régulateur de l'Observatoire de Marseille, descend à toutes les stations et remet à l'heure les horloges de ces stations. Comme le tremblement de terre a eu lieu un mercredi, il se trouvait qu'au moment de la catastrophe toutes les horloges de la ligne étaient d'accord.

En Italie, la remise à l'heure des horloges des gares se fait d'après un autre système : tous les matins un employé part de Gênes pour Vintimille; il est porteur d'une montre réglée qu'il présente, au passage, aux chefs de gare chargés de remettre leur horloge à l'heure d'après cette indication.

M. Offret a dressé un tableau qui montre les arrêts des horloges et où sont consignées les observations des chefs de certaines gares, françaises et italiennes.

On remarque en consultant ce tableau que, sur la partie de ligne située en France, sauf deux exceptions, tous les régulateurs se sont arrêtés à la même heure : 5 heures 10 minutes; sur la partie de ligne située sur le territoire italien, on observe la même concordance; sauf deux exceptions, les horloges se sont arrêtées à 5 heures 42 minutes et demie. (La différence constante de 2 minutes et demie entre les heures françaises et italiennes tient, d'après M. Offret, à une cause spéciale.)

M. Offret a recueilli, en outre, de nombreuses observations d'heures faites dans les observatoires et par des particuliers, en Italie, en France et en Suisse. Ces observations ont été résumées dans un tableau indiquant la distance en kilomètres au centre du mouvement sismique, les heures du tremblement de terre fournies par les SISMOGRAPHES ou les observations directes, les heures marquées par les hor-

loges arrêtées, la vitesse moyenne superficielle du mouvement, et pour chaque localité les erreurs pouvant provenir d'une légère variation des horloges. Au tableau des perturbations sismiques M. Offret en a joint un autre indiquant les perturbations magnétiques dans différentes villes dont les distances au centre de la commotion varient de 300 à 1,500 kilomètres. En considérant les heures de perturbation notées, on trouve qu'elles correspondent à des vitesses moyennes de propagation variant entre 800 et 2.000 mètres par seconde. M. Offret écarte l'idée d'un grand courant unique ressentant partout à la fois dans toute l'Europe. « Ces perturbations magnétiques, dit-il, ont produit sur les courbes topographiques des interruptions très brusques, semblables à celles que produit un choc ou un courant électrique instantané. On peut leur attribuer deux causes, soit un mouvement transmis à l'appareil et le faisant fonctionner à la façon du pendule d'un sismographe, soit un courant électrique. Dans cette seconde manière de voir, il faut immédiatement éliminer l'hypothèse d'un grand courant unique produit au moment de la secousse et ayant fait sentir simultanément son action dans toute l'Europe. L'absence de concordance des heures des perturbations tranche immédiatement la question. »

D'autre part, on peut difficilement admettre l'existence de courants partiels causés en chaque endroit par l'arrivée de la secousse du tremblement de terre, attendu que dans la partie centrale du tremblement de terre, où ces courants auraient dû logiquement naître avec plus de force, on a constaté une insensibilité remarquable des appareils magnétiques, il semblerait que les courants magnétiques se soient propagés avec d'autant plus de vitesse qu'on s'éloignait davantage du centre de la perturbation sismique. « Ce fait, dit M. Offret est en contradiction avec les idées admises jusqu'à présent par tous les savants qui se sont occupés de la détermination de la profondeur du centre d'ébranlement. En effet, parlant de cette idée que le sol est sensiblement homogène à une faible profondeur, et négligeant les variations de composition et de structure qui existent dans la partie superficielle de la croûte terrestre, on est arrivé à cette conséquence que les vitesses à la surface de la terre devraient décroître avec la distance à l'épicentre, et Seebach en a déduit une construction géométrique conduisant à la détermination de la profondeur du centre d'ébranlement. Ainsi la partie superficielle de la croûte terrestre dans laquelle la propagation se fait lentement, soit par suite de sa composition (alluvions du Pô), soit par suite de sa structure (plissements et failles des Alpes), n'est nullement négligeable. C'est à elle

qu'il faut attribuer la vitesse de propagation moindre du côté de l'Italie que du côté de la Suisse. »

En réponse à la communication que nous venons d'analyser, M. Mascart a fait observer qu'il fallait tenir compte de la nature des instruments servant à enregistrer les divers éléments variables du magnétisme terrestre. Ces instruments enregistrent trois composantes différentes de la même force, et il n'est pas prouvé que la cause d'une perturbation agisse de la même façon sur ces trois composantes. Il faut aussi tenir compte de ce que les instruments ne sont pas identiques dans tous les observatoires; or, leur masse et leurs dimensions jouent un rôle quand il s'agit de perturbations sérieuses. Il est donc facile de commettre des erreurs soit sur l'époque, soit sur la grandeur des perturbations, lorsqu'on compare les résultats fournis par des appareils différents. En France, par exemple, où tous les enregistreurs sont du même type, on constate une simultanéité remarquable; mais on observe des retards allant jusqu'à six ou sept minutes dans certains observatoires étrangers. Dans d'autres observatoires on ne remarque rien. « Si la cause des mouvements du sol est électrique, dit M. Mascart, on en ignore absolument le mécanisme; comme les courants successifs se disséminent nécessairement à partir du centre de production, on ne peut affirmer qu'à toute distance le premier effet observé corresponde à la même phase du phénomène. La question ne peut donc être résolue par l'observation avant qu'un autre événement analogue ait donné l'occasion de faire des mesures plus exactes. »

M. A. Vernier a publié dans le journal *le Temps* du 7 juin 1887 une étude sur le sujet qui nous occupe, et il reproduit quelques observations qui permettent de penser que les courants électriques se développent en même temps qu'on constate des variations magnétiques, ce qui prouve qu'un lien profond unit le magnétisme et l'électricité.

1° Dans le bureau des téléphones de Cannes, les employés constamment, en venant au bureau le 23 février à huit heures du matin, que tous les INDICATEURS TÉLÉPHONIQUES correspondant aux divers abonnés reliés au bureau étaient tombés, tandis que les annonceurs reliés à des fils destinés à de futurs abonnés, et par conséquent non encore utilisés, étaient restés en place. Les uns et les autres étant aussi faciles à mouvoir mécaniquement, on est fondé à croire que les annonceurs de service n'avaient pas été dérangés par un simple choc, mais que leur chute résultait du passage d'un courant électrique. Cependant, dans le bureau du télégraphe, situé dans une autre maison, on observa qu'une sonnerie d'appel, très sensible aux moindres effluves orageux, n'avait donné aucun signal.

2° Le lieutenant-colonel Benoît, directeur de l'artillerie à Nice, a noté ce fait curieux: le 23 février, au moment de la troisième secousse du tremblement de terre, un gardien de batterie, de service au fort de la Tête-de-Chien communiquait télégraphiquement avec un gardien de batterie du fort de la Drette pour lui faire connaître les effets des deux premières secousses ressenties le matin. Il avait la main sur le MANIPULATEUR quand il ressentit une violente secousse; il lâcha l'appareil et fut rejeté sur sa chaise, où il resta sans pouvoir remuer pendant quelques minutes. Son bras demeura engourdi pendant toute la journée. M. le Dr Onimus, qui a rapporté cette observation, a pris soin de constater que la commotion était bien due au fluide électrique au moment précis du tremblement de terre. « Cette observation, ajoute le docteur, nous paraît d'une importance exceptionnelle pour indiquer que les tremblements de terre sont ac-

compagnés de forts courants électriques. D'autres phénomènes semblent le démontrer, mais aucun ne le prouve aussi nettement et aussi sûrement que celui-ci. »

Enfin M. Ch. Zenger qui a dépouillé beaucoup de journaux d'Europe et d'Amérique a noté des coïncidences entre un grand nombre de faits observés pendant les cinq jours qui ont précédé le tremblement de terre; il établit ainsi un parallélisme entre les perturbations de l'atmosphère et celles de l'intérieur du globe.

Relations entre les phénomènes magnétiques et les phénomènes solaires.

— Au mois de janvier 1887, M. Mascart a présenté à l'Académie des Sciences une note de M. E. Marchand sur la simultanéité entre certains phénomènes solaires et les perturbations du magnétisme terrestre. M. Marchand a construit une courbe dont les ordonnées proportionnelles aux intensités des perturbations sont élevées sur l'axe des temps, en des points correspondant aux époques de perturbations (époques marquées par les milieux de leurs durées). Cette courbe, ou mieux cette ligne brisée, présente une série de maxima correspondant à des perturbations plus fortes que celles qui les précèdent ou qui les suivent, et chacune de ces maxima coïncide sensiblement avec le passage d'un groupe de taches ou d'un groupe de facules à sa plus courte distance au centre du disque solaire.

M. Marchand dit dans sa communication que :

1° Il ne semble pas y avoir de relation entre l'intensité des perturbations et le diamètre des taches.

2° On observe à la surface du soleil des régions, plus ou moins étendues, occupées par des facules; des taches, qui s'y forment, y changent d'aspect et de surface ou même disparaissent pour se reformer parfois dans une position voisine. Certaines de ces régions d'activité persistent pendant plusieurs mois et, à part de très rares exceptions, chacun de leurs passages à la distance minima du disque correspond, dans la courbe des perturbations, à un maximum d'intensité, d'ailleurs variable d'un passage à l'autre.

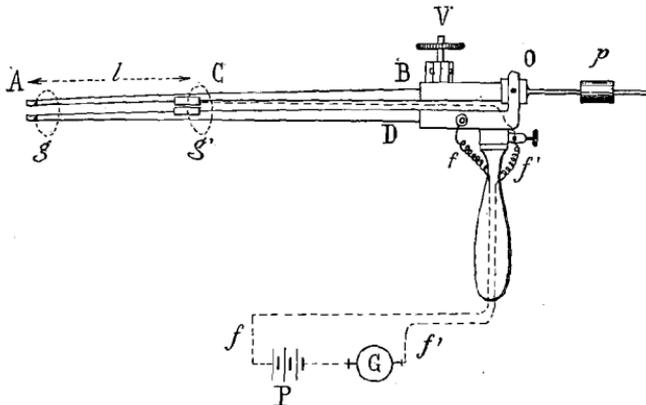
M. Marchand conclut qu'il existe une relation directe entre les perturbations du magnétisme terrestre et les déplacements, par rapport à nous, de certains des éléments solaires accompagnant les taches et les facules.

MAGNÉTO-DYNAMOMÈTRE. — Appareil imaginé par M. Eric Gérard, professeur de l'Institut électrotechnique Montefiore à Liège, pour étudier la répartition du CHAMP MAGNÉTIQUE produit dans une MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE soit à l'état dynamique, soit à l'état statique. Cet instrument est fondé sur le fait suivant : « Lorsqu'on place dans un champ magnétique uniforme d'intensité h un conducteur rectiligne de longueur l traversé par un courant d'intensité i , perpendiculairement aux LIGNES DE FORCE du champ, le conducteur est soumis à une force F dont la valeur en DYNES est égale à $F = h i l$. » (l étant exprimé en centimètres et i en unités CGS.)

L'appareil de M. Gérard se compose essentiellement de deux lames minces articulées en O. L'une de ces lames AB, qui est mobile, se prolonge au delà du point O par une tige sur laquelle glisse un contre-poids p qui sert à l'équilibrer une fois pour toutes. La lame fixe D porte un manche qui sert à tenir l'appareil et dans l'intérieur duquel passent les fils f et f' qui relient la pile P d'une part à la lame fixe, d'autre part au curseur C à l'aide duquel on fait varier à volonté la longueur l de la lame mobile parcourue par le

nt. Cette longueur est d'autant moindre que le p à explorer est plus puissant. Deux autres fils les g et g' reliant les deux extrémités des lames et D et les deux parties isolées du curseur C forment le circuit. Enfin la lame mobile porte un ressort que l'on tend plus ou moins à l'aide de la

vis micrométrique V. Ceci posé, voici comment on procède pour étudier un champ magnétique : on place la lame mobile de longueur l de telle sorte que la traction exercée sur le ressort soit maximum. On ramène ensuite, à l'aide de la vis V la lame mobile à sa position primitive, de façon à éliminer la tension



Magnéto-dynamomètre de M. Éric Gérard.

s fils g et g' . On lit sur la graduation marquée sur la lame mobile la longueur l ; on connaît l'intensité i du courant fourni par la pile P à l'aide du GALVANOMÈTRE G intercalé dans le circuit. On connaît enfin la tension du ressort qui donne F , on déduit donc de la formule $F = hil$ la valeur de h .

MAGNÉTO-ÉLECTRIQUE. — Qui tient à la fois du magnétisme et de l'électricité.

Machines magnéto-électriques. — Machines produisant de l'électricité au moyen du MAGNÉTISME. Elles se composent essentiellement d'une ou plusieurs bobines contenant un noyau de fer doux qu'on aimante à des moments alternativement à l'aide d'un AIMANT permanent.

Les principales machines magnéto-électriques sont celles de Pixii, de Clarke, de l'Alliance, de Siemens, de Gramme, de Méridens. (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

MAGNÉTOGÈNE. — Qui produit les effets du magnétisme.

MAGNÉTOGÉNIE. — Production des effets magnétiques.

MAGNÉTOGRAPHE. — Appareil destiné à enregistrer les variations magnétiques.

MAGNÉTOÏDE. — Qui ressemble à un effet magnétique, quoique provenant d'une cause autre que le magnétisme.

MAGNÉTOMÈTRE. — Appareil au moyen duquel on détermine le MOMENT MAGNÉTIQUE d'un AIMANT, l'INTENSITÉ magnétique du globe et ses variations.

L'état magnétique en un point du globe serait fixé si l'on connaissait la grandeur et la direction de la force appliquée à chacun des pôles d'un aimant donné. Il faut donc faire deux déterminations d'ordre différent :

1^o Celle de la direction, qui est indépendante de l'aimant sur lequel on opère, c'est-à-dire celle de la direction du COUPLE TERRESTRE;

2^o Celle de l'intensité de la force magnétique terrestre.

Pour déterminer la direction du couple terrestre, on mesure la DÉCLINAISON et l'INCLINAISON du lieu et l'on a par là même la direction que prendrait une AIGUILLE AIMANTÉE librement suspendue. Cette direction est celle qu'il faut supposer aux LIGNES DE FORCE, qui, également espacées, caractérisent le CHAMP MAGNÉTIQUE terrestre.

Mesure de la déclinaison. — La déclinaison ou direction de la composante horizontale se mesure à l'aide de la BOUSSE DE DÉCLINAISON, appelée aussi **magnétomètre** et par la **BOUSSE DE GAMBAY**.

On se sert également pour faire cette observation de plusieurs autres instruments, dont nous allons donner une description sommaire. Ce sont :

1^o Le **théodolite-boussole** de Brunner, employé à l'Observatoire de Montsouris et qui comprend : deux cercles gradués, l'un horizontal, l'autre vertical, ce dernier mobile autour de la verticale passant par le centre du premier; une lunette pour viser les astres ou des miroirs éloignés déterminant le méridien, laquelle lunette se meut parallèlement au plan du cercle vertical; enfin un microscope muni d'un réticule et dont l'axe optique est parallèle à celui de la lunette avec laquelle il tourne.

Voici comment on fait une observation : avec le microscope, on vise les extrémités d'un petit barreau aimanté contenu dans une boîte cylindrique fermée par des glaces parallèles et suspendu par un fil de cocon. A ses extrémités sont fixés deux disques d'argent sur lesquels sont gravés des traits verticaux constituant l'axe géométrique du barreau. Le fil de suspension peut être repéré à l'aide de vis à la partie supérieure de telle sorte que le centre de rotation du barreau soit exactement dans le plan décrit par l'axe du microscope. On vise la mire méridienne avec la lunette, on fait une lecture sur l'alidade, on vise alors le barreau aimanté avec le microscope, on fait une

deuxième lecture sur l'alidade. La différence des deux lectures donne l'angle dont l'appareil a tourné, c'est-à-dire la déclinaison.

2° La boussole des variations en déclinaison, employée aussi à l'Observatoire de Montsouris, et qui comprend un barreau aimanté suspendu à un fil sans torsion et portant un miroir sur lequel vise une lunette placée à quelque distance. Par cette lunette on voit, dans le miroir, l'image d'une règle graduée perpendiculaire à celle-ci et à son pied.

Quand le barreau se déplace, le miroir suit son mouvement et les divisions successives de la règle apparaissent devant le réticule de la lunette. Connais-

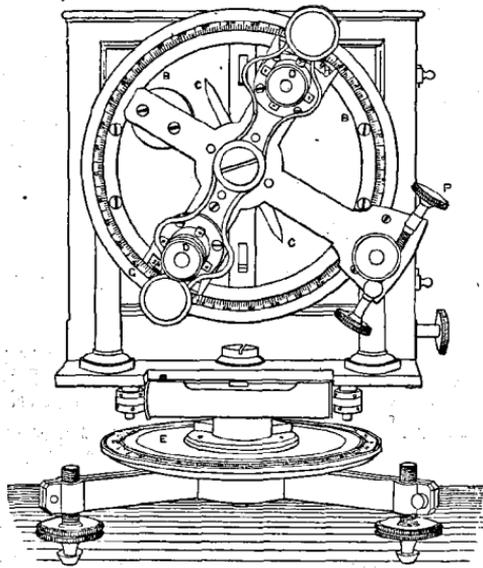


Fig. 1. — Cercle de Barrow.

sant la grandeur des divisions et la distance du miroir à la règle, on peut calculer l'angle dont le barreau a tourné. (Ce même instrument peut servir à mesurer aussi la composante horizontale, c'est-à-dire non seulement la direction de cette composante [déclinaison], mais aussi son intensité; on emploie alors la méthode des oscillations qui est décrite plus loin.)

Mesure de l'inclinaison. — L'inclinaison ou direction de la composante verticale se mesure par l'angle que fait avec l'horizontale l'axe d'une aiguille aimantée suspendue par son centre de gravité et pouvant tourner librement dans le plan du méridien magnétique.

On détermine l'inclinaison à l'aide des instruments suivants :

1° La boussole d'inclinaison, dont il existe plu-

sieurs modèles ne différant que par des détails de construction. A l'Observatoire de Montsouris, on emploie la boussole d'inclinaison absolue de Brunner.

2° Le cercle de Barrow, employé en Angleterre. En voici la description et la figure empruntées à l'ouvrage de M. Gordon.

L'instrument se compose essentiellement d'une aiguille aimantée C mobile dans un plan vertical sur un axe horizontal (fig. 1). Toute la partie supérieure de l'instrument tourne autour d'un pivot vertical sur le cercle E. A une distance de 3 à 5 centimètres derrière l'aiguille se trouve une feuille de verre B; de 5 à 8 centimètres en avant, est un cercle G, sur lequel tourne un bras mû par une vis tangente P et portant des microscopes DD et des verniers HH. En reportant ce bras si loin en avant de l'aiguille, on a eu pour but de garantir celle-ci de l'influence des

des de fer qui peuvent se trouver comme impu- dans le laiton. Pour observer la position de zille, on fait tourner le bras qui porte les micros- jusqu'à ce que l'on voie les bouts de l'aiguille C les microscopes. Le bras est alors fixé et réglé moyen de la vis tangente P jusqu'à ce qu'une le de l'aiguille soit exactement au centre du p d'un des microscopes. On lit les verniers et fait une observation semblable à l'autre bout. Les des extérieures aux microscopes servent à lire verniers.

ici comment on mesure l'inclinaison : commence par amener le plan du cercle dans le idien magnétique. Pour cela, il faut se rappeler , quand ce plan est perpendiculaire au méridien nétique, la composante horizontale n'agit que r presser les pivots de l'aiguille contre leurs sup- et que la composante verticale seule tend à pro- la rotation.

l'aiguille sera donc verticale quand le plan du le sera perpendiculaire au méridien magnétique. place verticalement le bras porte-microscope; on le à 90° l'un de ses verniers, celui du bas, par mple, et l'on fait tourner le cercle autour de son oi vertical jusqu'à ce que l'extrémité de l'aiguille arasse au milieu du champ du microscope. On alors le cercle horizontal. On règle ensuite à 90° le vier supérieur du porte-microscope et l'on règle le cercle horizontal jusqu'à ce que l'on voie dans le croscopie le haut de l'aiguille.

Lecture faite du cercle horizontal, on retourne l'ai- lile sur ses supports, c'est-à-dire que l'extrémité de a axe qui était d'abord dirigée vers la face de trument est tournée vers le fond; puis on répète i deux observations. La moyenne des quatre lectures e cercle horizontal est la position du vernier pour uelle le plan du cercle est perpendiculaire au méri- en magnétique.

Le cercle étant tourné autour de son pivot vertical placé de façon que la lecture du vernier sur le rele horizontal diffère de 90° de la valeur moyenne écedemment trouvée, le plan du cercle est dans le éridien magnétique.

Un manche latéral sert à élever ou à abaisser, au oyen de deux fourchettes de métal en forme d'Y, le ivot de l'aiguille, ce qui permet de s'assurer que ce ivot est bien au centre des deux plans d'agate sur esquels il roule simplement.

Quand l'appareil est disposé comme on vient de xpliquer, on observe au moyen du microscope les xtrémités de l'aiguille; on note les lectures corres- ondantes faites sur le cercle au moyen des verniers, i on a fait la lecture de l'extrémité nord de l'aiguille, n fait ensuite celle de l'extrémité sud, et inversem- ent. On a ainsi quatre lectures. On tourne ensuite e cercle vertical sur son pivot de 180° lus au cercle orizontal, de sorte que si l'instrument faisait d'abord ace à l'est, il fait maintenant face à l'ouest. On prend e même quatre lectures. L'aimant est alors enlevé de es supports et retourné. On répète les huit lectures récedemment décrites. On retire l'aimant, on le met ans une pièce de bois, et on renverse ses pôles en rromenant sur lui, du centre vers les bouts deux bar- eux aimantés. Cela a pour but d'éliminer toute égalié affectant l'équilibre de l'aiguille ou de son ivot. Toutes les seize opérations sont répétées avec l'aiguille aimantée de nouveau.

La moyenne des trente-deux lectures est la direc- ion de l'inclinaison.

Mesure de l'intensité de la force magnétique. — Pour mesurer l'intensité de la

force magnétique du globe, en un lieu déterminé, on peut suivre trois méthodes :

1° On mesure la *composante horizontale* h , c'est-à-dire l'intensité horizontale de la force magnétique, et connaissant l'inclinaison i , c'est-à-dire la direction de la composante verticale, on en déduit l'intensité totale H par la formule

$$H = \frac{h}{\cos i}$$

2° On mesure la *composante verticale* v , c'est-à-dire l'intensité verticale de la force magnétique, et connaissant l'inclinaison i , on en déduit l'intensité totale H par la formule

$$H = \frac{v}{\sin i}$$

3° On mesure la *composante horizontale* h , la *composante verticale* v , et on a alors l'intensité totale H par la formule

$$H = \sqrt{h^2 + v^2}$$

Pour mesurer pratiquement ces composantes on emploie plusieurs instruments qui dérivent tous du magnétomètre de Gauss et dont nous indiquerons quelques modèles.

Magnétomètre de Gauss. — Cet appareil se compose d'un barreau prismatique AB, aimanté, suspendu à un falseau de fils de soie sans torsion, et portant normalement à son axe de figure un petit miroir CD (fig. 2). A une certaine distance, une règle

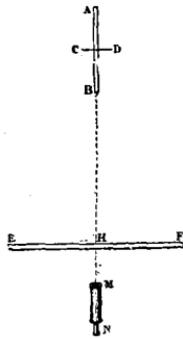


Fig. 2.

divisée horizontale EF est établie normalement au méridien magnétique. MN est la lunette d'un théodolite; elle porte devant le centre de son objectif un fil à plomb, qui indique sur la règle EF la division H, comprise dans le plan vertical passant par l'axe de la lunette. Supposons que la direction de l'axe de la lunette, comme le suppose la figure précédente, vienne, pour une cause quelconque, à être dérangé de sa position de telle sorte que le miroir CD prenne, par rapport à la règle divisée EF, la position indiquée par la fig. 3. Alors, en regardant à travers la lunette MN, au lieu d'apercevoir, comme précédemment, la division H de la règle, on verra un point H'. Si OP est la normale

au miroir, on aura, d'après les lois de la réflexion de la lumière, l'angle $\text{POH}' = \text{POH}$, et par suite le rapport connu $\frac{\text{HH}'}{\text{OH}}$ donnera la tangente du double de l'angle compris entre l'axe de la lunette et la normale OP au miroir. Si cette normale coïncidait exactement avec l'axe de l'aiguille, il suffirait, pour déterminer la déclinaison, de fixer l'azimut du plan ver-

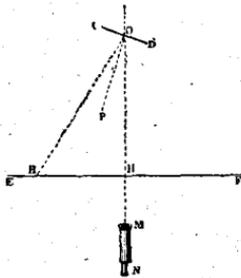


Fig. 3.

tical passant par OH; pour corriger l'erreur résultant du défaut de coïncidence, on retourne l'aiguille aimantée sur elle-même dans l'étrier qui la supporte; on fait une nouvelle observation et on prend la demi-somme des déclinaisons trouvées.

Pour déterminer, avec cet instrument, la composante horizontale du magnétisme terrestre H , on place perpendiculairement à la direction de l'aimant AB et à une distance d un barreau aimanté relativement long. AB subit alors une déviation δ donnée par la formule

$$(1) \quad \lg \delta = \frac{\mu}{H} \times \frac{1}{d^2} + C \times \frac{1}{d^3},$$

dans laquelle μ représente le moment magnétique du barreau aimanté, H la composante magnétique terrestre et C une constante.

On fait ensuite une deuxième observation ne différant de la première que par la distance d' à laquelle on place le barreau aimanté, et on a une nouvelle formule

$$(2) \quad \lg \delta' = \frac{\mu}{H} \times \frac{1}{d'^2} + C \times \frac{1}{d'^3}.$$

On peut donc éliminer C entre les deux formules

$$(1) \text{ et } (2) \text{ et en déduire la valeur du rapport } \frac{\mu}{H}, \text{ soit}$$

$$(3) \quad \frac{\mu}{H} = P.$$

Si, d'autre part, on observe la durée t des oscillations de l'aimant AB dévié de sa position d'équilibre, on peut, en appliquant à cet aimant la formule du pendule composé ($t = \pi \sqrt{\frac{I}{\mu H}}$) dans laquelle I représente le moment d'inertie du système oscillant, calculer μH . Il est connu par une opération préalable.

On a donc finalement, en désignant par Q la valeur calculée de μH

$$(4) \quad \mu = \frac{Q}{H}.$$

et en substituant cette valeur de μ dans l'équation (3),

$$\frac{Q}{H^2} = P,$$

d'où finalement

$$H^2 = \frac{Q}{P}.$$

Les deux formules (3) et (4) permettent aussi de calculer μ ; en les multipliant membre à membre on a

$$\mu^2 = PQ.$$

Il est bien entendu qu'il faut faire les corrections nécessitées par la force de torsion du fil de suspension de l'aimant AB, qui est très faible, mais non négligeable.

Magnétomètre de l'observatoire de Kew. — Les fig. 4 et 5 donnent deux vues du magnétomètre qui sert à l'observatoire de Kew (Angleterre). Cet instrument n'est qu'une modification de celui de Gauss.

Les deux quantités à déterminer sont toujours : la composante H et le moment magnétique μ de l'aimant qui produit la déviation. On se sert du même aimant pour exécuter les oscillations et pour produire la déviation.

Par les observations de déviation on calcule le rapport $\frac{\mu}{H} = A$.

Par les observations d'oscillations on calcule le produit $\mu H = B$, et on a, en multipliant membre à membre $H^2 = AB$, d'où $H = \sqrt{AB}$, et en divisant membre à membre

$$\frac{1}{H^2} = \frac{A}{B},$$

d'où

$$\mu^2 = \frac{B}{A} \text{ et } \mu = \sqrt{\frac{B}{A}}.$$

La fig. 4 montre l'instrument disposé pour les observations de déviation. Il est muni d'un pied avec vis calantes. L'aimant est suspendu par un faisceau de fils de cocon à une tête de torsion et à une crémaillère qui permet de l'abaisser ou de l'élever. Une règle de laiton gradué D porte sur un chariot L l'aimant dévié K. Avant de mettre cet aimant en place on observe l'azimut de l'aimant suspendu. L'aimant K produit une déviation; l'intensité de K est constante et connue; elle agit contrairement à la force horizontale de la terre, qui est variable. La grandeur de la déviation se mesure à l'aide d'un miroir concave et d'une lunette A à laquelle est fixée une échelle B. Si l'aimant est dévié, le miroir tourne avec lui, et une autre partie de l'échelle apparaît dans le champ de la lunette. L'oculaire de la lunette est muni d'un réticule vertical qui permet de mesurer exactement la déviation.

La fig. 5 montre l'instrument disposé pour les observations d'oscillation. La lunette, l'échelle, la règle de déviation et l'appareil de torsion sont enlevés et remplacés par une autre lunette B, un appareil de torsion DPH et une boîte à aimant A.

L'aimant suspendu est formé d'un tube d'acier aimanté dont l'un des bouts est muni d'une glace plane sur laquelle on a photographié une petite graduation et l'autre bout est une lentille de collimateur telle que les rayons divergents partis de l'échelle placée au bout du tube soient rendus parallèles en tombant sur la lentille. On tourne le cercle jusqu'à ce que le réticule

la lunette D passe par la division du milieu de cette | l'aimant. L'aimant étant mis en vibration, on détermine
celle quand on la regarde avec la lunette à travers | par une simple observation la durée approximative

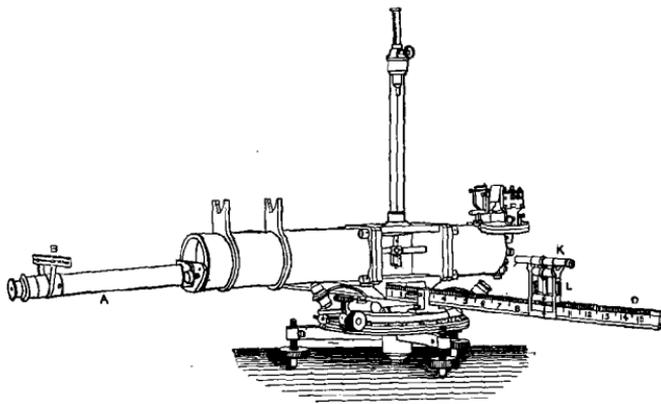


Fig. 4. — Magnétomètre unifilaire de Kew, disposé pour les observations de déviation.

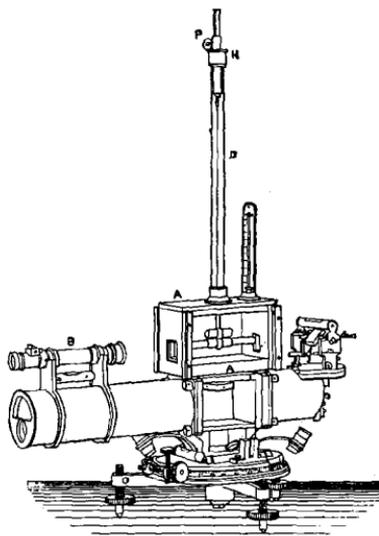


Fig. 5. — Magnétomètre unifilaire de Kew, disposé pour les observations d'oscillation.

d'une demi-oscillation. La durée d'une oscillation complète est l'intervalle compris entre deux passages successifs, dans la même direction, du point zéro devant le réticule et la durée d'une demi-oscillation est l'in-

tervalle de deux passages consécutifs, ces passages se faisant naturellement dans deux directions opposées.

Une horloge battant la seconde est placée de façon qu'on puisse la voir et entendre ses battements. L'observateur dit à haute voix le temps qu'indique l'horloge au moment où il la quitte des yeux; ce temps est noté par un aide. L'observateur continue de compter à l'oreille depuis l'instant où il a cessé de regarder l'horloge et, observant à travers la lunette, il note entre quels battements le centre de l'échelle passe au zéro. Les fractions de seconde se déterminent à l'estimation par l'observation de l'échelle.

Pour avoir la durée vraie d'une oscillation, il faut faire des corrections pour la marche de l'horloge, pour la température, pour la torsion du fil de suspension.

Cercle de Barrow. — Le cercle de Barrow, dont il a été question plus haut au sujet de la détermination de l'inclinaison, peut servir aussi à l'observation de la force totale H ; à cet effet, il doit être pourvu de deux aiguilles additionnelles dont les pôles ne doivent jamais être renversés ni modifiés. Ces aiguilles sont, l'une une aiguille d'inclinaison ordinaire, l'autre une aiguille semblable chargée d'un petit poids fixe et constant agissant en sens inverse du magnétisme. Désignant par 3 et 4 ces deux aiguilles, on observe la position d'équilibre du n° 3 soumis à la fois à l'action du magnétisme terrestre et à celle du n° 4 employé à le dévier et placé avec son pôle nord successivement dirigé vers le nord et vers le sud magnétique; on observe ensuite la position d'équilibre que prend le n° 4 sous l'action du magnétisme terrestre et du poids constant dont il est chargé. La première opération donne une relation entre la force totale de la terre et le moment magnétique du n° 4; la seconde donne une relation entre ce moment et celui d'un poids connu placé à une distance connue de l'axe. Le produit de ces deux rapports est le rapport de la force terrestre au moment connu du poids, et par suite donne la force terrestre en mesure absolue.

Magnétomètre bifilaire. — Pour étudier les variations de la composante horizontale de la force directrice du globe, on se sert du magnétomètre bifilaire. Un fort barreau aimanté est suspendu à deux fils formant étrier et dont le plan est perpendiculaire au méridien magnétique. Mais l'action du globe tend à ramener le barreau dans le plan de ce méridien et l'écart de sa position primitive de quantités plus ou moins grandes suivant l'intensité de cette action; on estime comme précédemment les changements de direction du barreau et on en conclut les variations de la composante horizontale de l'action de la terre.

Magnétomètre-balance. — Enfin, pour apprécier les changements d'intensité de la composante verticale de l'action directrice du globe, on emploie un troisième magnétomètre appelé magnétomètre-balance. C'est un barreau aimanté suspendu sur deux plans d'égale à l'aide d'un couteau, et que l'on ramène dans la position horizontale au moyen d'un contrepoids mobile. L'accroissement ou la diminution de ce contrepoids par rapport à l'axe de suspension font connaître l'accroissement ou la diminution de la composante verticale de l'action directrice du globe.

Enregistrement photographique des variations magnétiques. — Pour peindre aux yeux les variations de position de l'aiguille aimantée, on donne quelquefois au magnétomètre de Gauss la disposition suivante: on supprime la lunette MN représentée sur les fig. 2 et 3 et on la remplace par une lentille recevant les rayons émis par un point

lumineux. Ceux-ci, en sortant de la lentille, tendent à aller converger au foyer conjugué du point lumineux; mais dans leur trajet ils rencontrent le miroir CD et sont renvoyés sur une bande de papier photographique mobile. Comme la position de l'image dépend essentiellement de l'orientation du miroir, et par conséquent de celle du barreau aimanté, il est aisé de comprendre qu'on pourra déduire les variations de la déclinaison de la forme de la courbe que détermineront les positions successives de l'impression photographique du point lumineux.

Avec l'appareil précédent, qui est d'une sensibilité

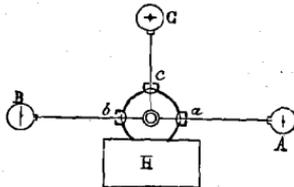


Fig. 6.

extrême, les observations sont faciles; aussi a-t-il été d'une grande utilité dans les recherches délicates sur les variations continues de la déclinaison magnétique en un point déterminé.

M. Mascari, a installé au Collège de France des appareils enregistrant photographiquement les variations des trois éléments qui définissent le magnétisme terrestre en un point du globe. En voici la description succincte empruntée à M. Garieul (*Traité pratique d'Électricité*, t. 484):

« L'aiguille de déclinaison A (fig. 6) est un petit barreau de 0m,03 de longueur, muni d'un miroir. Un barreau analogue B, porté par une suspension bifilaire en fil de soie, donne les variations de la composante horizontale. Celles de la composante verticale sont fournies par une aiguille à couteau C oscillant comme un fléau de balance. Une seule lampe au gazogène, donnant une lumière comparable à celle d'une veilleuse, envoie par trois fentes a, b, c des rayons lumineux aux trois instruments de variations, et les trois images de retour peuvent, par un système de prismes

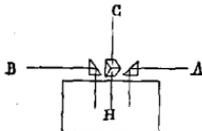


Fig. 7.

réflecteurs, tomber sur une même plaque sensible mue par un mouvement d'horlogerie H (fig. 7). Sur chaque appareil de variations est installé un miroir fixe qui donne une image invariable de la fente pour servir de repère. La plaque sensible est du papier au gélatinobromure placé entre deux lames de verre. Enfin l'horloge est munie d'un contact électrique qui fait passer toutes les heures un courant momentané dans trois bobines situées respectivement auprès de chaque appareil; l'interruption produite ainsi sur les courbes d'inscription permet de déterminer exactement l'heure de toutes les perturbations. »

Variomètre de Kohlrausch. — Enfin nous signalons ici l'instrument imaginé par le professeur Kohlrausch, et appelé par lui **variomètre**, pour mesurer les variations du courant magnétique terrestre. Il sert, à l'aide d'un petit appareil, de suivre minutieusement les oscillations de l'aiguille aimantée et à les contrôler. Il se compose d'un simple magné-
mètre à un fil dont l'aimant forme des deux côtés

un miroir en acier poli. Au lieu d'un simple magné-
tomètre de déviation, comme dans les appareils ordi-
nairement employés, il y en a quatre fixés sur un
cadre mobile autour du magnétomètre (fig. 8). Tout
l'appareil, dont l'orientation est indiquée par des ni-
veaux en forme de croix, est relié à une petite lunette
avec échelle, ainsi que le montre la figure.

La valeur de l'échelle est déterminée par la position

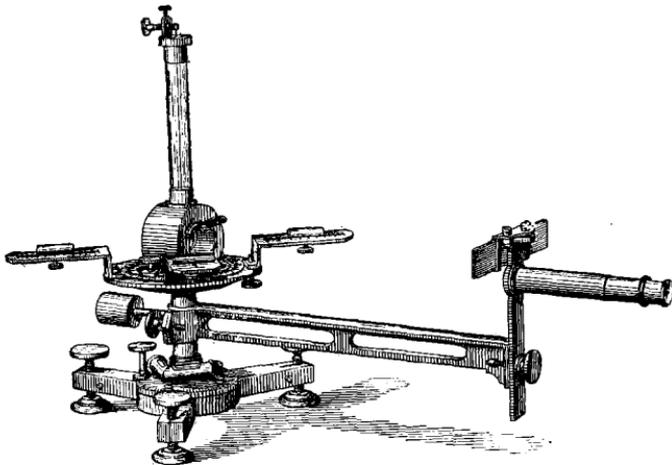


Fig. 8. — Variomètre de Kohlrausch.

des aimants, laquelle est indiquée par les degrés qui se trouvent sur le cadre. La sensibilité du variomètre est en raison de l'éloignement des aimants de déviation de l'aimant d'oscillation. Tout l'appareil est construit en cuivre électrolytique.

MAGNÉTO-PARLEUR. — Appareil imaginé par M. Weissenbruch, pour transmettre des bruits susceptibles de former une sorte d'ALPHABET MORSE. Cet appareil est applicable à la TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE. Le transmetteur est une sorte de TÉLÉPHONE GOWER, suspendu au cou de l'opérateur par les fils conducteurs, et tombant devant lui à peu près à la hauteur de la ceinture. La plaque du téléphone est bombée; on peut, à l'aide d'une clef MORSE, l'abaisser ou lui laisser reprendre sa position première. Le récepteur est un téléphone ordinaire, qui produit deux sons distincts quand la plaque du transmetteur s'abaisse ou se relève.

On emploie un seul fil de ligne, et on prend pour terre la poignée d'un sabre enfoncé dans le sol. Celui qui manipule maintient à son oreille un téléphone-témoin et vérifie ainsi l'exactitude de la transmission.

MAGNÉTOPHONE. — Instrument formé d'un disque de fer percé de deux rainures de trous, dont le nombre est dans le rapport de 1 à 2. Si l'on place derrière la série des trous deux nœuds et devant ces trous un AIMANT, et que l'on fasse tourner la roue, on entend dans un TÉLÉPHONE intercalé dans le circuit des bobines des sons qui sont à l'octave l'un de l'autre.

Magnus (Henri-Gustave), chimiste allemand, né à Berlin en 1802, mort en 1870. Après avoir terminé ses études à l'université de sa ville natale, il alla passer une année auprès de Berzélius, à Stockholm, et y découvrit le sel vert de platine. Il se rendit ensuite à Paris, où il séjourna assez longtemps, puis revint à Berlin, s'y fit recevoir agrégé en 1831 et y ouvrit des cours libres sur la technologie et la physique. Nommé en 1834 professeur extraordinaire de technologie et de physique à l'université de la même ville, il y devint, en 1844, titulaire de la même chaire. Il fut nommé membre de l'Académie des Sciences de Berlin en 1846. Le premier ouvrage qu'il ait publié fut une dissertation sur *l'Inflammation spontanée du fer réduit par l'hydrogène* (1825). Les résultats de ses recherches et de ses expériences postérieures sur la chimie et la physique ont été consignés dans une foule de mémoires, insérés dans les *Annales de Poggendorf* et dans le *Recueil de l'Académie de Berlin*.

On doit à ce savant chimiste la découverte de plusieurs acides, entre autres de l'acide hyperiodique. Il s'est, en outre, livré à des recherches sur la diminution de densité que la fusion produit dans le grenat et dans la lave, sur la propriété qu'a le sang d'absorber l'acide carbonique et l'oxygène, et il a fondé, par ses dernières recherches, la théorie d'absorption du sang; il a déterminé les coefficients de dilatation de l'air atmosphérique et de divers autres gaz, de la force d'expansion de la vapeur d'eau, ainsi que des mélanges de vapeurs de densités différentes; enfin, il

s'est aussi occupé de recherches sur l'électricité, le magnétisme, sur la thermo-électricité, sur diverses questions d'hydraulique, sur la déviation des projectiles d'armes à feu, sur le pouvoir diathermal des gaz, sur la polarisation de la chaleur rayonnante, etc.

MAILLECHORT. — Alliage de nickel, de cuivre et de zinc, employé pour la fabrication des fils destinés à créer des résistances. (V. BOITES DE RÉSISTANCES, MIÉOSTAT.)

La proportion des trois métaux est variable; elle est généralement de : cuivre, 50; nickel, 20; zinc, 30.

On choisit le maillechort parce que c'est un des alliages dont la résistance électrique varie le moins avec les changements de température.

MANCE (Méthode de). — Méthode de mesure de la résistance intérieure des PILES imaginée par M. Mance.

MANCHON. — Petit tube orale percé à sa partie médiane d'une ouverture elliptique longitudinale et servant à réunir les extrémités de deux fils télégraphiques ou téléphoniques. (V. LIÈGE.)

Mangin (Alphonse), colonel du génie français, mort en novembre 1883. Ses études sur la TÉLÉGRAPHIE OPTIQUE ont été fort utiles à l'armée; perfectionnant les premiers essais de M. Maura, il a créé, rendu possible et maniable le télégraphe optique qui fait communiquer aujourd'hui tout le réseau des places fortes de l'Est à l'insu de l'ennemi possible. Ces appareils portent jusqu'à 200 kilomètres les rayons d'une lampe à pétrole, ou d'un foyer électrique. Le système a été installé entre les îles Maurice et de la Réunion, qui n'avaient jamais pu réussir à communiquer par un câble sous-marin. Le colonel Mangin s'est occupé pendant longtemps de la direction des ballons au moyen de l'électricité. Ses études ont été continuées par MM. Krebs et Renard.

MANIPULATEUR. — Appareil servant à transmettre les signaux télégraphiques. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

MANIPULATION. — Action de transmettre une dépêche au moyen d'un manipulateur.

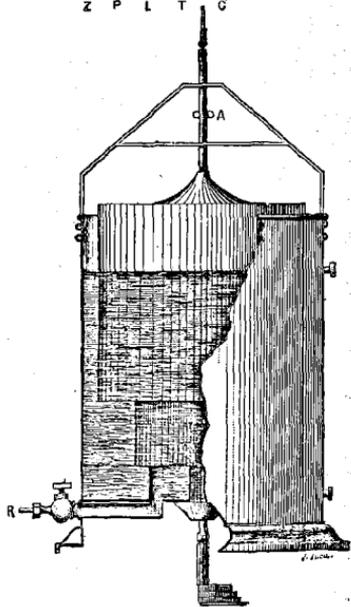
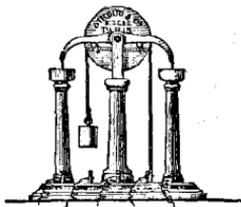
Ce mot désigne aussi la manière dont les télégraphistes savent se servir de leur manipulateur. Ex. : Cet agent a une bonne ou une mauvaise manipulation.

MANIPULER. — Transmettre une dépêche au moyen du manipulateur.

MANOMÈTRE-AVERTISSEUR ÉLECTRIQUE de la pression du gaz. — Appareil construit par M. L. Giroud pour indiquer à chaque instant, à une usine à gaz, les variations de pression qui se produisent au centre du réseau ou en un point quelconque de ce réseau, et permettre, par suite, à l'usine de régler convenablement la vitesse d'écoulement du gaz dans les conduites. On peut utiliser pour transmettre le courant électrique, du point où est placé l'appareil manométrique en ville, à l'avertisseur situé à l'usine même, une ligne téléphonique qui relierait par exemple la ville et cette usine.

L'appareil se compose essentiellement d'une sorte de petit gazomètre, à parois épaisses, placé à proximité du point de la conduite où on veut régulariser la pression, et relié à cette conduite par un tube muni d'un robinet R. La tige A de ce gazomètre est suspendue à une corde qui s'enroule sur une poulie portée par l'appareil électrique. Au-dessous de la cloche est

implantée une tige servant à porter des poids variables qui permettent de faire flotter la cloche d'une quantité déterminée pour une pression également déterminée. Enfin, sur la poulie où s'enroule la corde de suspension de la cloche sont implantées deux goupilles perpendiculaires au plan de cette poulie. Sur l'axe de la poulie sont montées deux aiguilles recour-



Manomètre-avertisseur électrique de M. Giroud.

bées, folles sur leur axe, et dont les extrémités, en plaine, sont au-dessus de deux godets pleins de mercure. Dans la position normale, lorsque la pression du gaz n'est ni trop forte ni trop faible, ces deux aiguilles, soutenues par les goupilles dont il a été parlé plus haut, sont horizontales et leurs extrémités ne plongent pas dans le mercure. Si au contraire il se manifeste une variation dans la pression, ce qui fait monter ou descendre la cloche, la poulie tourne, les goupilles se déplacent, et l'une des

gouilles plonge dans le mercure, tandis que l'autre est soulevée. On relie, d'une part, la ligne à la colonne supportant les aiguilles, d'autre part les deux pôles de mercure à deux piles. L'un de ces supports est relié, par exemple, au pôle négatif de la première pile dont le pôle positif est à la terre, et l'autre support est relié au pôle positif de la deuxième pile dont le pôle négatif est à la terre.

Dans ces conditions, chaque fois que l'une des aiguilles plonge dans l'un des godets, un courant positif ou un courant négatif est lancé dans la ligne, ce courant actionne à l'usine un GALVANOMÈTRE; on les indications permettent de manœuvrer la vanne de distribution du gaz de façon à modifier convenablement la pression; lorsque l'aiguille du galvanomètre revient au zéro, l'employé sait qu'il a atteint le résultat cherché. Dans tous les cas, il est verti d'une modification de la pression dans la conduite par le tintement d'une sonnerie placée à côté du galvanomètre et fonctionnant tant que ce dernier n'est pas revenu à son zéro.

L'appareil de M. Giroud fonctionne avec succès dans plusieurs usines.

MARÉOGAPHE. — Instrument enregistreur servant à inscrire les heures et les variations des marées. On construit des marégraphes électriques. Les marégraphes sont des appareils analogues aux FLEUVIOMÈTRES.

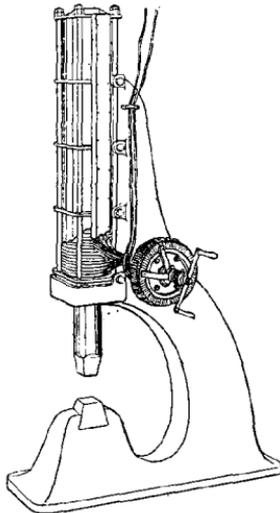
Marianini (Pierre), médecin italien, né dans la Lomelline (Piémont) en 1787, mort à Modène en 1869. Il étudia, comme son père, la médecine et les sciences qui s'y rattachent, à l'université de Pavie, alors dans tout son éclat. Reçu docteur en 1808, il se fit dans son pays natal et s'attacha principalement à répandre l'usage de la vaccine. En 1816, il publia, à Alexandrie, une édition des œuvres de son père; dans les notes, il soutint, contre les *Annales de médecine* de Omodei et la *Biblioteca italiana*, une polémique très vive sur les maladies vénériennes. En 1817, au milieu des horribles ravages exercés par le typhus pourpré, il s'établit à Mortara, chef-lieu de la Lomelline, rendit d'énormes services à la population, et devint justement populaire. C'est vers cette époque qu'il s'attacha à répandre et à faire adopter, dans la thérapeutique, l'usage de la quinine. En 1825, il occupa à Mortara une chaire d'histoire et de sciences naturelles. Ses travaux, très estimés, lui valurent d'être nommé membre de l'Académie des Sciences et de l'Académie de Médecine de Turin, correspondant de l'Institut de France, etc. Les principaux ouvrages de Marianini sont : *Recherches sur l'usage et l'efficacité du sulfate de quinine* (1822); *Observations sur l'usage du sulfate de quinine et Notice sur plusieurs fièvres intermittentes* (1829). On lui doit, en outre, de nombreux articles publiés dans des journaux scientifiques, et des mémoires : *Sur un Electromoteur voltaïque (le Pulscoscopy) appliqué comme agent thérapeutique*; *Sur la Galcanoplastie*; *Sur l'Electrographie*; *Sur le Daguerriotypie*; *Sur le Magnétisme*; *Sur la Création d'un code sanitaire universel*; *Sur les Maladies vénériennes*; *Sur le Choléra*, etc.

MARTEAU-PILON ÉLECTRIQUE. — Marteau-pilon dans lequel le cylindre de fer consultant le marteau proprement dit forme le noyau d'une série de noyaux placés les uns à la suite des autres, et à travers lesquelles le courant est distribué à l'aide d'un COMMUTATEUR.

Le marteau-pilon n'est autre qu'un ELECTROMOTEUR Page modifié. Les bobines superposées qui constituent le SOLÉNOÏDE sont cloisonnées; le cylindre de fer,

attiré par la première bobine, est ensuite attiré par la seconde, puis par la troisième et ainsi de suite jusqu'à la fin de sa course. Dans l'appareil expérimenté au Conservatoire des Arts et Métiers en 1882, les sections élémentaires formant le solénoïde sont au nombre de 80 et ont une hauteur totale de 4 mètres.

Les fils d'entrée et de sortie aboutissent à un collecteur circulaire; les frotteurs de ce commutateur sont constitués par deux lames montées sur une double manivelle mobile autour d'un axe. Ces lames



Marteau-pilon électrique.

peuvent faire entre elles un angle quelconque, ce qui permet de donner par titonnement au solénoïde actif la longueur la plus convenable. Quand on a déterminé cette longueur, on fixe les lames à l'aide d'une vis de pression, et on imprime à la double manivelle un mouvement circulaire alternatif.

Le cylindre de fer pèse 24 kilogrammes; avec un courant d'une intensité de 43 AMPÈRES on peut développer un effort de 70 kilogrammes.

MASSAGE ÉLECTRIQUE. — Expérience faite par M. Planté au moyen du courant fourni par sa MACHINE ANÉSTATIQUE. Il obtient une sorte de vague, en appuyant l'ÉLECTRODE positive contre le bord d'un vase contenant de l'eau salée, tandis que le liquide communique avec le pôle négatif.

MASSAGE ÉLECTRIQUE. — Opération ayant pour but de masser et d'électriser en même temps un membre. L'opération se fait au moyen d'un appareil imaginé par un docteur américain et composé d'un rouleau en cuivre garni de cuir; la poignée est formée par un AIMANT en fer à cheval, devant les PÔLES duquel peuvent tourner deux bobines qui, avec l'aimant, constituent une MACHINE de Clarke. En promenant le

rouleau sur une partie du corps, on met en mouvement les bobines et on produit des courants électriques. Une des électrodes de la machine est formée par le rouleau; l'autre, par une plaque qu'on applique sur un point convenable du corps : le courant passe entre ce point et celui où se fait le massage.

MASSE. — Quantité de matière renfermée dans un corps.

Massé d'un appareil. — Dans un appareil électrique, on désigne sous le nom de *masse* l'ensemble des pièces métalliques non isolées les unes des autres.

Les expressions : *perte de la masse*, *communication avec la masse*, *mise à la masse*, *communication* employées pour indiquer qu'un conducteur touche une partie métallique de l'appareil qui peut se trouver reliée à la terre, ce qui cause un DÉRANGEMENT.

MASSE ÉLECTRIQUE. — Quantité d'électricité accumulée en un point. La masse électrique est indestuctible comme la matière. Une masse électrique est attirée par une masse matérielle proportionnellement au produit des deux masses et inversement au carré de leur distance. *Deux masses électriques* se repoussent proportionnellement à leur masse, et inversement au carré de leur distance. (V. *FLUIDE ÉLECTRIQUE.*)

MASSE MAGNÉTIQUE. — Quantité de MAGNÉTISME accumulé au pôle d'un AIMANT.

Si en un même point du globe et au même instant on examine deux barreaux aimantés, identiques comme forme et comme poids, on trouve, en général, qu'ils n'exercent ou ne subissent pas les mêmes actions; on dit alors que ces deux barreaux n'ont pas le même MOMENT MAGNÉTIQUE. En admettant que ces actions émanent des pôles, supposés placés de la même façon, on en conclut que les FLUIDES sont en quantités inégales ou égales aux pôles de ces aimants, et on dit que ces pôles ont des *masses magnétiques* inégales ou égales.

En évaluant les forces exercées par un même aimant sur deux AIGUILLES AIMANTÉES de même forme et de même poids et placées à une même distance, on peut convenir de prendre ces forces comme mesure des masses magnétiques de ces aiguilles.

f étant la force qui s'exerce entre deux masses magnétiques m et m' situées à une distance d l'une de l'autre, on peut écrire :

$$f = \frac{mm'}{d^2}.$$

Ce qui revient à prendre pour unité de masse magnétique celle qui, agissant sur une masse égale située à l'unité de distance, donne naissance à l'unité de force (*Gauss*).

L'étude des masses magnétiques présente de réelles difficultés.

MASSIF d'un appareil. — Synonyme de **MASSE d'un appareil.**

Masson (Antoine-Philibert), savant français, né en 1806, mort en 1860. En sortant de l'École normale, il se fit recevoir agrégé (1835) et fut nommé, dix ans plus tard, professeur suppléant de physique à la Faculté des Sciences de Paris. On lui doit la première idée, en collaboration avec Jenkins, de la bobine de Ruhmkorff. Masson a publié, outre des articles dans les *Annales de Physique et de Chimie*; *Théorie physique et mathématique des Phénomènes electro-dynamiques et du magnétisme* (1838); *Etudes de Photométrie électrique* (1845); etc.

Matteucci (Charles), physicien et homme politique italien, né à Forlì (Romagne) le 21 juin 1814, mort à Livourne en 1868. Il appartenait à une modeste famille de la bourgeoisie. Il reçut une bonne éducation et acheva ses études scientifiques à l'université de Bologne, où il fut reçu docteur en mathématiques en 1839. Son père l'envoya ensuite à Paris, où il suivit pendant deux ans les cours de l'École polytechnique. De retour à Forlì en 1831, il s'adonna entièrement à l'étude de la physique et se livra, sur l'électricité dynamique et statique, à de nombreuses recherches, qu'il poursuivit ensuite à Florence, où il était venu se fixer en 1834, après la mort de son père, puis à Ravenne, où il fut nommé, en 1837, professeur de physique et directeur du laboratoire de chimie. Ses premiers travaux lui valurent d'illustres amitiés : Arago, qui avait deviné chez Matteucci un savant de premier ordre, écrivit à de Humboldt en le priant de recommander le jeune professeur au grand-duc de Toscane pour la chaire de physique à l'université de Pise, vacante à cette époque; de Humboldt n'eut pas de peine à faire nommer Matteucci à cette place, qu'il devait illustrer par ses découvertes.

Matteucci s'est occupé avec succès de toutes les nombreuses questions soulevées par les découvertes imprévues d'Arago, de Faraday, etc.; mais il s'est fait un nom à part par ses recherches sur les effets physiologiques de l'électricité. La physique proprement dite lui doit : 1° Un appareil propre à rendre sensibles les COURANTS D'INDUCTION produits par la décharge de la BOUTEILLE DE LEVY ou par le passage d'un courant voltaïque. Cet appareil se compose de deux plateaux de verre sur lesquels sont fixés des fils métalliques enroulés en spirales et dont les bouts sortent libres au centre et à la circonférence. Les deux plateaux étant rapprochés l'un de l'autre de façon que leurs plans soient parallèles, on fait passer un courant inducteur dans l'un des fils et on constate aisément l'existence du COURANT INDUIT dans l'autre. 2° Des expériences précises sur la distribution des courants induits qui se produisent à la surface des disques métalliques tournant devant les pôles contraires de deux forts AIMANTS. L'appareil dont s'est servi Matteucci dans ces expériences est limité de celui qu'avait imaginé Faraday pour le même but. Les deux bouts du fil d'un GALVANOMÈTRE, destiné à manifester la présence du courant, sont reliés avec des pointes normales au disque et dont on peut à volonté faire varier les points de contact avec lui. Ces deux pointes communiquent d'ailleurs entre elles par leur support commun, de façon que le circuit soit fermé. Matteucci a trouvé des lignes neutres, des lignes d'inversion, à partir desquelles les courants changent de sens, enfin des lignes de maximum; il a décrit avec soin ces différentes lignes.

Parmi les expériences de Matteucci sur l'électricité animale, nous citerons celles qu'il a faites sur les grenouilles et sur les tortilles. Il est parvenu à composer des PILES voltaïques actives avec des cuisses de grenouilles, en mettant le nerf lombaire de chacune en contact avec la partie musculaire de la suivante. Les tortilles, déjà étudiées par Becquerel, Faraday, etc., ont encore fourni à Matteucci le sujet d'observations intéressantes, d'où il résulte que l'organe où l'électricité prend naissance, chez ces animaux, est formé de deux parties symétriques situées des deux côtés de la tête. La commotion peut résulter du contact avec un point quelconque de la surface du corps de la tortille encore toute vivace; le dos est chargé d'électricité positive et le ventre d'électricité négative. A mesure que la vie s'éteint, les points d'où l'on peut

sentir la commotion se rapprochent de l'organe nérateur de l'électricité.

Matteucci a reçu de la Société royale de Londres médaille de Copley; il était membre correspondant à l'Académie des Sciences de Paris depuis 1841. Ses principaux ouvrages sont : *Essai sur les Phénomènes thermo-physiologiques des animaux* (1840); *Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux* (1844); *Cours sur l'Induction, le Magnétisme de rotation et le Diamagnétisme; Cours d'Electro-physiologie;zioni di Fisica* (3 éditions à Pise et à Naples); *Manuale di Telegrafia elettrica; Corso di Elettro-fisiologia; Elementi di Elettrocità applicata alle arti, et azioni sui Fenomeni fisico-chimici dei corpi viventi traduit en anglais et en français*. Il a publié, en outre, un grand nombre de mémoires dans les *Philosophical Transactions* de la Société royale de Londres, les *Annales de chimie et de physique* de Paris, *Bibliothèque universelle* de Genève, les *Memorie della Società italiana* de Modène et le *Nuovo Cimento* de Pise.

Comme homme politique, la carrière de Matteucci n'est pas moins bien remplie. Dès 1847, il fit entendre des paroles de liberté du haut de sa chaire de professeur; en 1848, il fut commissaire toscan auprès de Charles-Albert. Après la malheureuse journée de Custoza, il se rendit à Francfort pour y plaider à cause de son pays devant l'Assemblée allemande. En 1849, il fut de ceux qui, espérant éviter une occupation autrichienne, se rendirent auprès du grand-duc pour le prier de rentrer, suivi des Autrichiens. Il reprit sa chaire de Pise, et fut ensuite directeur des télégraphes de toute la Toscane. En 1856, il représenta le gouvernement provisoire toscan à Turin, puis fut envoyé à Paris avec Peruzzi et Neri Corsini pour y appuyer l'annexion au Piémont. En 1860, il fut inspecteur général des lignes télégraphiques du royaume italien. Sénateur à l'Assemblée toscane de 1848, Matteucci entra au Sénat italien en 1860. Il fut, dans cette Assemblée, rapporteur de la commission pour les annexions et pour le titre de roi d'Italie. Dès cette époque, il opina pour le transfert de la capitale à Florence, afin d'éviter les difficultés inextricables de la question romaine. Ministre de l'Instruction publique, en 1862, dans le cabinet Rattazzi, Matteucci fit un nouveau règlement pour les universités, et réorganisa l'École normale de Pise.

Bon citoyen autant que savant illustre, Matteucci a publié en 1854 d'importantes *Lettres sur l'Instruction publique*, dans lesquelles il expose un système rationnel sur cette importante question.

MATIÈRE RADIANTE. — Nous ne pensons pouvoir mieux faire, à ce sujet que de reproduire ici un mémoire original de M. Crookes, publié en 1879 dans la *Lumière électrique* (t. I, 1^{er}, 1879, n^o 41.)

« Les recherches de la science moderne ont bien élargi et modifiées nos idées sur la constitution des gaz. On considère maintenant les gaz comme composés d'un nombre presque infini de petites particules ou molécules, lesquelles sont sans cesse en mouvement, et animées de vitesses de toutes grandeurs. Si nous retirons d'un vase clos une grande partie de l'air qu'il contient, le nombre des molécules est diminué, et la distance qu'une molécule peut franchir sans se heurter contre une autre s'accroît; la longueur moyenne de la course libre étant en raison inverse du nombre de molécules restantes, plus on retire d'air, plus s'accroît la longueur moyenne qu'une molécule peut parcourir sans entrer en collision avec une autre; ou, en d'autres termes, plus la longueur

moyenne de la course libre augmente, plus les propriétés physiques du gaz se modifient.

« J'ai longtemps cru que le phénomène suivant, que l'on observe dans les tubes de Geissler, doit être en rapport avec la course libre moyenne des molécules. Quand on examine le pôle négatif pendant que le courant fournit par une bobine d'induction traverse un tube où l'on a fait le vide, on voit autour de ce pôle un espace sombre, et on trouve que cet espace croît et décroît, selon que le vide est plus ou moins parfait, ou, ce qui revient au même, que la course libre moyenne des molécules augmente ou diminue. Si le vide est trop imparfait pour laisser beaucoup de liberté aux molécules avant qu'elles entrent en collision entre elles, le passage de l'électricité indique que l'espace sombre est réduit à des dimensions minimes. On voit donc que l'espace sombre représente la course libre moyenne du gaz remuant, et il est tout à fait différent dans les tubes où le vide est parfait, et dans les tubes où le vide est fait incomplètement. Dans les tubes où le vide est le meilleur, les molécules du gaz qui restent peuvent les traverser sans collision, et comme les molécules venant du pôle négatif ont une vitesse énorme, et acquies des propriétés nouvelles et caractéristiques, on peut très bien se servir du terme *matière radiante* emprunté à Faraday.

« Une des propriétés les plus remarquables de la matière radiante du pôle négatif est la propriété qu'elle a de produire la phosphorescence lorsqu'elle frappe contre un corps solide. Le verre, par exemple, devient très phosphorescent lorsqu'il reçoit un courant de matière radiante. La phosphorescence du verre d'uranium est vert foncé; le verre anglais donne une couleur bleue; le verre allemand, qui est très mou, en donne une verte pompe; le sulfure de calcium, préparé par Bequerel, brille avec une couleur bleu violet; et si ces matières sont étendues sur une surface d'un décimètre carré, elles brillent assez pour éclairer faiblement une chambre. Le phénacite, minéral fort rare, a une phosphorescence bleue, le spontumène donne une lumière phosphorescente d'un beau jaune d'œuf, et l'émeraude émet une lumière cramoisie. Mais, de toutes ces substances celle qui donne la phosphorescence la plus vive est le diamant. On a rencontré un diamant fluorescencieux fort curieux qui paraît vert à la lumière solaire et incolore à la lumière artificielle. Disposé au centre d'un ballon de verre dans lequel on a fait le vide, et soumis à l'action d'un courant moléculaire dirigé de bas en haut, il donne une lumière phosphorescente verte dont l'éclat est égal à celui d'une bougie. Après le diamant, une des pierres les plus remarquables par leur phosphorescence est le rubis, qui émet une belle lumière rouge. La nuance du rubis semble sans influence sur la couleur de la lumière émise. L'alumine précipitée qui a été préparée avec le plus grand soin, puis chauffée à blanc, donne une lumière aussi belle que le rubis. Donc, la couleur de la lumière phosphorescente n'est aucunement dépendante de la couleur de la pierre. C'est Bequerel qui a montré, le premier, que l'alumine calcinée donne une belle couleur rouge au phosphoroscope. Il n'y a rien de plus beau que de voir une quantité de rubis soumis à la lumière du courant d'induction; ils brillent comme s'ils étaient incandescents, et l'effet d'illumination est presque égal à celui du diamant. Les rubis artificiels préparés par M. Fell se comportent tout à fait comme de vrais rubis.

« Le spectre de la lumière rouge émise par ces variétés d'alumine présente une raie d'un rouge intense, un peu au-dessous de la raie fixe B du spectre, avec une largeur d'onde d'environ 6,895. Il y a aussi un spectre continu qui finit à peu près en B.

« Dans les expériences ordinaires que l'on fait avec les tubes de Geissler, on a coutume, pour mieux faire ressortir les différences de couleur, de donner aux tubes des formes sinuées assez compliquées. La lumière due à la phosphorescence du gaz rémanant suit alors toutes les sinuosités des tubes. Le pôle négatif étant à une extrémité et le pôle positif à l'autre, les phénomènes lumineux semblent dépendre plus du pôle positif que du pôle négatif, du moins pour le degré de raréfaction du gaz jusqu'ici en usage pour mettre en évidence les phénomènes des tubes de Geissler; mais, quand le vide est très parfait, on ne voit aucune lueur diffuse ou nuageuse dans le tube, la seule lumière qui se manifeste est celle qui provient de la surface phosphorescente du verre.

« La *fig. 1* montre deux boules qui se ressemblent,

comme forme et comme disposition des électrodes polaires. Dans l'une A le vide a été poussé seulement à quelques millimètres, tandis que dans l'autre B le vide a été porté environ à un millionième d'atmosphère. Si la boule A est mise en connexion avec la bobine d'induction, le pôle a étant toujours négatif, le fil positif, mis successivement en rapport avec chacun des autres pôles dont la boule est munie, montrera qu' aussitôt que la position du pôle positif sera changée la ligne de lumière violette qui joint les deux pôles changera aussi; le courant électrique prenant toujours le chemin le plus court entre les deux pôles, et changeant par conséquent de position dans la boule, selon la position du pôle positif. Si on prend la boule B, dans laquelle le vide est presque parfait, l'aspect est bien différent, et si le pôle négatif

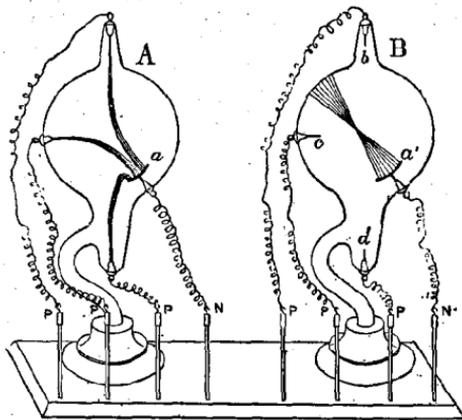


Fig. 1.

a' à la forme d'une coupe peu profonde, les rayons moléculaires qui en partent se croiseront au centre de la boule et viendront tomber en divergeant sur la paroi opposée, en y produisant une plaque circulaire de lumière phosphorescente verte. Quand le fil positif b est détaché et fixé ensuite au pôle c, la plaque verte ne bouge pas du tout. Le pôle positif étant transporté en d, la plaque verte ne change ni de position ni d'intensité. Ce fait nous montre cette remarquable propriété de la matière radiante, qu'à un faible degré de raréfaction la position du pôle positif exerce une très grande influence, tandis qu'avec un vide presque parfait cette position de ce même pôle n'exerce presque aucune; les phénomènes semblent dépendre entièrement du pôle négatif, car la matière radiante s'écarte toujours en ligne droite du pôle négatif.

« J'ai montré que, quand un écran en forme de croix et fait d'alumine intercepte le passage de la matière radiante, l'ombre de la croix est projetée sur l'extrémité du tube; mais si l'on fait tomber la croix, on voit l'ombre noire se changer brusquement en une croix lumineuse.

« La matière radiante est donc lancée avec une très grande vitesse du pôle négatif, et non seulement elle frappe le verre de manière à le faire vibrer et à le

rendre momentanément lumineux, mais les percussions résultant du choc des molécules sont assez énergiques pour produire sur le verre une impression durable.

« Pour montrer que la matière radiante exerce une action mécanique sur les corps qu'elle vient frapper, j'ai construit un tube, où le vide a été poussé fort loin, et qui contient deux petites tiges de verre parallèles, disposées dans le sens de la longueur du tube, de manière à former une sorte de petit chemin de fer. L'axe d'une petite roue à larges palettes de mica tourne sur ces tiges de verre, et à chaque extrémité du tube, un peu au-dessus du centre, se trouve une électrode d'alumine. Dès que l'une ou l'autre de ces électrodes est rendue négative, un courant de matière radiante s'écarte de ce pôle, parcourt le tube et, frappant les palettes supérieures de la petite roue, la fait tourner et avancer le long des rails de verre.

« En renversant les pôles, la roue est arrêtée et renvoyée en sens contraire, et si le tube est un peu incliné, on peut s'assurer que le choc est assez puissant pour forcer la roue à remonter la pente. Cette expérience démontre donc que le courant moléculaire qui part du pôle négatif peut mettre en mouvement un obstacle léger qui lui rencontre,

PAGE BLANCHE

« Dans l'étude de ce quatrième état de la matière, il semble que nous ayons saisi et soumis à notre pouvoir les petits atomes indivisibles qu'il y a de bonnes raisons de considérer comme formant la base physique de l'univers.

« Par quelques-unes de ses propriétés la matière radiante est aussi matérielle que le salin, tandis que par d'autres propriétés elle présente presque le caractère d'une force de radiation. »

Matthiessen, physicien allemand, dont les principaux travaux ont paru dans les *Annales de Poggendorf* de 1855 à 1866. Il est surtout connu par ses travaux relatifs à la conductibilité des métaux (*Ann. de Poggendorf*, t. CXXV, CXXVI, CXXVII), dont il a étudié la variation en fonction de la température, et qu'il représente par une formule à trois termes

$$C_t = C_0 (1 - kt + k't^2)$$

où C_0 est la conductibilité à 0°, t la température, k et k' des coefficients qu'il faut déterminer pour chaque métal. Il a en outre montré que les impuretés des métaux du commerce, fussent-elles en proportions infimes, et même la simple absorption des gaz de l'air font varier la conductibilité dans une large mesure. On lui doit des tableaux de la résistance spécifique des métaux purs entre 0° et 20°.

En dehors de ces travaux relatifs à l'électricité, Matthiessen a attaché son nom à l'étude de la dilatation de l'eau et de son maximum de densité (*Ann. de Poggendorf*, t. CXXVIII, 1866). Enfin on lui doit de bonnes observations sur la vision. Il a établi, notamment, que l'œil n'est pas parfaitement achromatique.

Maxwell. — (V. CLERK-MAXWELL.)

MÉGALOSCOPE (du grec *mezas*, *megalos*, grand; *scopeo*, je vois). — (V. ELECTRO-MÉGALOSCOPE.)

MÉGALOSCOPIE. — Nom donné par M. le Dr Boissou du Rocher au principe optique qui lui a servi à réaliser l'ÉLECTRO-MÉGALOSCOPE, ou *electro-endoscope*, instrument destiné à éclairer les cavités du corps humain.

MÉGASCOPE ÉLECTRIQUE. — Appareil permettant d'opérer des agrandissements de dessins ou de photographies sans avoir recours à des clichés transpa-

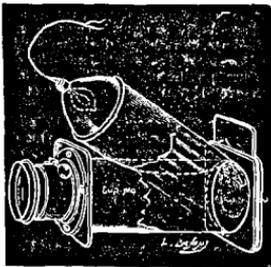


Fig. 1.

rents. C'est en quelque sorte un lampascope électrique ou une lanterne magique de corps opaques. Cet appareil, imaginé par M. Trouvé, peut rendre des services aux savants, aux architectes, peintres, dessi-

nateurs, etc. Il se compose de deux tubes cylindriques se raccordant sous un angle déterminé (fig. 1), dont l'un porte à son extrémité supérieure le foyer lumineux (lampe à INCANDESCENCE) et le réflecteur parabolique; l'autre, l'objectif photographique ordinaire. C'est au sommet de l'angle formé par les deux cylindres que se place l'objet ou l'image à projeter par



Fig. 2.

réflexion sur l'écran. C'est ainsi que M. Trouvé a projeté les photographies de M. Chevreul (fig. 2), de M. Pasteur, etc. Les projections qui réussissent le mieux sont celles des pièces de monnaie; on projette également bien l'image d'une montre en marche. Le mégascope électrique à double foyer lumineux, représenté (fig. 2), à droite de celui en fonctionnement, ne diffère de ce dernier que par l'adjonction d'un deuxième corps de cylindre, armé comme le premier d'une lampe à incandescence placée au foyer d'un deuxième réflecteur parabolique.

Pour actionner le mégascope électrique, on peut employer la batterie portative de M. Trouvé, présentée à l'Académie des Sciences par Jamain. D'après M. Trouvé, la dépense se réduit à 0 fr. 25 pour un éclairage de trois heures. Chaque couple à une FORCE ÉLECTROMOTRICE de 1,9 VOLT et une résistance de 0,09 à 0,1 OHM. Mais on peut également se servir de PILES DUNSON.

MÉGAVOLT (du grec *mezas*, grand; et de *volt*). — UNITÉ ÉLECTRIQUE DE FORCE ÉLECTROMOTRICE valant un million de volts.

MÉGOMM (du grec *mezas*, grand; et de *ohm*). — UNITÉ DE MESURE DE RÉSISTANCE, valant un million d'OHMS.

MÉLANGE. — Contact entre deux ou plusieurs fils télégraphiques. — Un mélange constitue un DÉBRAN-OLEMENT assez fréquent.

Melloni (Marcoffine), célèbre physicien italien, à Parme en 1801, mort à Naples en 1853. Il était, puis 1824, professeur de physique dans sa ville natale, et lors, à la suite des événements politiques de 31, il se vit contraint de s'expatrier. Il se recruta en France, fut pendant quelque temps professeur à Dûle, passa de là à Genève, où ses études menèrent à ses belles découvertes sur le calorique yonnant, puis se rendit à Paris pour y faire connaître le résultat de ses travaux. Une série de mémoires qu'il publia furent de la part de Biot l'objet d'un rapport favorable, et lui firent décerner par la société royale de Londres la grande médaille de Hummel. Quelque temps après, grâce à Arago et à de Humboldt, qui intervint en sa faveur auprès du prince Metternich, Melloni put retourner en Italie, devint à 1839 professeur de physique au bureau de médecine de Naples et fut nommé directeur du Conservatoire des arts et métiers de cette ville, place qu'il occupa jusqu'en 1848. Il vivait dans la retraite à Pore, lorsqu'il fut emporté par une attaque de choléra.

Melloni a créé presque à lui seul une nouvelle branche de la physique. C'est à lui que l'on doit la connaissance des principales lois de la chaleur rayonnante, qu'il a expérimentées à l'aide de son **THERMO-ELECTRIFICATEUR**. Cet appareil se compose essentiellement de la pile **THERMO-ELECTRIQUE** de Nobili à laquelle Melloni a eu l'idée de joindre un GALVANOMÈTRE. Les premières piles thermo-électriques construites par Celsius et Fourier étaient formées de petits barreaux alternés de bismuth et d'antimoine, soudés à la suite les uns des autres, en ligne droite en un cercle. On y déterminait la naissance du courant en maintenant à une basse température les sources de rangs pairs, par exemple, et chauffant les autres. Nobili a rendu la pile **THERMO-ELECTRIQUE** à la fois plus puissante, et plus commode en lui donnant une disposition plus heureuse, qui a permis d'en multiplier les éléments : il a rempli, parallèlement à eux soudés, les barreaux consécutifs de bismuth et d'antimoine, de manière à former des plaques carrées contenant le même nombre de couples; puis il a soudé ces plaques les unes sur les autres, par leurs bords contraires, c'est-à-dire bismuth avec antimoine, de manière à en former un cube. Chaque barreau, bien entendu, reste séparé de ses deux voisins par un petit intervalle vide, et de même les plaques consécutives, disposées parallèlement, ne se touchent que par les bords par lesquels on les a soudées. On isole en outre tous les couples les uns des autres, ainsi que toutes les plaques, au moyen de bandes et de feuilles de papier enduites de vernis. Dans cette ingénieuse disposition, toutes les sources de rangs pairs forment une des faces du cube, et les autres la face opposée; la mise en action de la pile est ainsi rendue très simple et très commode. Le premier antimoine, qui forme le pôle positif, et le dernier bismuth, qui est le pôle négatif, portent des liges de cuivre, que l'on peut réunir par un fil métallique pour fermer le circuit.

C'est à cette pile de Nobili que Melloni a ajouté un GALVANOMÈTRE très sensible, gradué de manière à pouvoir donner la mesure de l'énergie variable du courant. L'appareil est tellement sensible, que la chaleur de la main à 1 mètre de distance produit une déviation très appréciable de l'aiguille du galvanomètre. Avant de commencer ses expériences, Melloni avait construit avec soin une table des déviations de l'aiguille produites par des courants d'intensité comparable entre elles. Il s'est d'abord occupé de faire la table des pouvoirs réfléchis et absorbants des différents corps. Entre autres résultats nouveaux auxquels il est

parvenu, il a constaté que le pouvoir absorbant d'un corps varie avec la source de chaleur. Ainsi, le carbonate de plomb absorbe proportionnellement à peu près deux fois plus de chaleur lorsqu'elle est émise par l'une des faces d'un cube métallique rempli d'eau chaude, que lorsqu'elle est produite par une lampe. Mais c'est par ses études sur les substances diathermanes que Melloni s'est surtout illustré. Il a reconnu que le pouvoir diathermanique d'un même corps dépend d'abord de la nature de la source de chaleur, mais aussi de la nature et du nombre des écrans qu'elle a déjà traversés avant d'arriver au corps soumis à l'expérience. Ce pouvoir varie aussi, pour un même corps, avec le degré de poli de sa surface et avec l'épaisseur de la lame qui en est formée.

Le liquide qui paraît se laisser le plus facilement traverser par la chaleur est le sulfure de carbone; l'eau est l'un des moins diathermanes. Le sel gemme laisse passer presque toute la chaleur qui tombe sur sa surface, le verre en laisse passer sensiblement moins, le sulfate de cuivre l'arrête complètement. La transparence et la diathermanité, du reste, ne sont pas toujours associées; ainsi le cristal de roche fondu conserve un pouvoir diathermanique considérable. Le poli augmente la diathermanité; l'épaisseur la diminue. La multiplication des écrans diminue naturellement la transparence pour la chaleur; mais il est assez remarquable qu'elle la diminue plus que ne ferait l'accroissement correspondant d'épaisseur. En comparant les pouvoirs diathermaniques de diverses substances exposées successivement à la chaleur de deux lampes dans l'une desquelles seulement la flamme était entourée d'un verre, Melloni a reconnu ce fait remarquable, que la chaleur qui a déjà traversé le verre traverse, en général, plus facilement les autres substances.

Tous ces phénomènes nouveaux ont conduit Melloni à formuler, sur la nature complexe de la chaleur, une hypothèse d'après laquelle le calorique se composerait, comme la lumière, de rayons de nature diverse, qui peuvent coexister ou se propager isolément. Ainsi, de même que chaque corps émet que des rayons d'intensité de une certaine teinte, de même chaque corps émettrait que des rayons calorifiques d'une certaine nature. Parallèlement, les corps diathermanes laisseraient passer une certaine espèce de rayons calorifiques et retiendraient les autres, comme les corps colorés transparents ne laissent passer qu'une sorte de rayons qui composent la lumière blanche.

MELOGRAPHIE (du grec *melos*, chant; *grapho*, j'écris). — Appareil imaginé par M. Leprieux pour enregistrer et conserver les traces de tous les mouvements imprimés aux divers touches d'un clavier pendant l'exécution d'un morceau de musique, d'une improvisation, etc.

Aux de rapporter aucune modification aux pianos et aux orgues, l'invention a fait du melographe un appareil complètement indépendant, mis seulement en relation avec le clavier par un faisceau de fils conducteurs correspondant chacun à une touche et à travers lesquels circule l'électricité, employée comme agent de transmission.

Étant donnée la nature du phénomène à enregistrer, l'établissement d'une tonalité, et le mode de transmission adoptée l'électricité, le problème se trouve ramené à une question de **CINÉTOSCOPIE**, qui est complètement résolue par un système analogue au télégraphe Morse.

Aussi peut-on comparer le melographe à un récepteur Morse; multiple et conserveur sa disposition et son fonctionnement en se reportant à la description de ce système télégraphique. (V. **TÉLÉGRAPHIE**.)

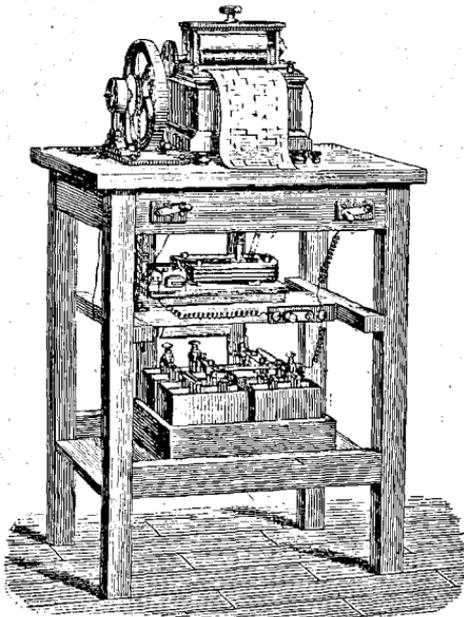
Le mélographe fournit des inscriptions à l'encre sur une bande de papier continue, qui doit être considérée comme la réunion d'un certain nombre de bandes étroites correspondant chacune à une touche du clavier.

La principale difficulté était de réduire au minimum la largeur de ces bandes particulières tout en assurant le parfait fonctionnement des organes inscripteurs. Dans le modèle ci-dessous chaque bande élémentaire ne mesure que 0^m.063 de largeur soit 0^m.12 de largeur pour trente-sept notes, ou trois octaves complètes.

Le mélographe comprend trois organes distincts :

- 1^o Le *transmetteur*, qui se place sous les touches du clavier, dans l'espace restreint, mais suffisant cependant, qui existe dans tous les modèles de pianos ; cet organe se compose d'une règle en bois portant une série de lames flexibles, dont chacune prend place sous une touche et qui, s'abaissant et se relevant en même temps que la touche, établit un contact d'autant plus prolongé que la touche est elle-même tenue plus longtemps abaissée.

- 2^o Le *moteur*, destiné à opérer l'entraînement con-



Mélographe de M. Carpentier.

linu et régulier de la bande sur laquelle se fait l'inscription. Ce moteur est électrique et actionné par six ACCUMULATEURS. Il est caractérisé par des organes régulateurs très puissants ; le premier de ces organes est un volant massif qui, eu égard à la vitesse dont il est animé, et au peu de puissance absorbée par l'appareil, rend négligeables les perturbations de vitesse que tendrait à produire le fonctionnement simultané de plusieurs traceurs. Le deuxième organe est un régulateur de vitesse à force centrifuge, qui rompt le circuit des accumulateurs lorsque la vitesse tend à dépasser une certaine limite et supprime ainsi la force motrice ; la vitesse se ralentit donc, le circuit est fermé, et ainsi de suite. Dans la pratique, ces variations n'existent pas et le régulateur se maintient dans un état d'équilibre correspondant à un contact imparfait, suffisant pour livrer passage au courant

nécessaire à l'entraînement de la bande de papier avec une vitesse constante d'environ 3 mètres par minute.

- 3^o Le *récepteur*, qui comprend l'ensemble des organes inscripteurs. Un cylindre à gorge, placé au-dessus de la bande de papier, peut être considéré comme formé de la réunion d'une série de molettes qui, encreées constamment par un rouleau onduif d'encre oléique situé au-dessus, représentent autant de plumes prêtes à tracer sur la bande les signaux transmis. Sous cette bande, et en regard de chaque molette, sont placés autant de styles, actionnés chacun par un ELECTRO-AIMANT ; ces styles soulèvent la bande et l'appuient contre les molettes chaque fois que l'on abaisse les touches correspondantes.

Les 37 électro-aimants sont reliés aux 37 touches

autant de fils conducteurs qui servent à fermer circuit de chaque électro sur les accumulateurs; 38^e fil, distinct des précédents, forme le retour au nul.

Le mégrographe est relié métalliquement au piano une tresse ou câble à 38 conducteurs terminé à deux extrémités par des pédales de contact qui flottent dans chaque appareil et établissent simultanément les communications.

Un grand nombre de dispositions de détail, qu'il est pas possible d'indiquer ici, ont été imaginées par Carpentier pour assurer le fonctionnement de l'appareil.

Dans l'inscription mégrographique sur bande de papier, chaque note est représentée par un trait dont position par rapport au bord de cette bande indique hauteur (dans la *gamme tempérée du piano*) et sa longueur indique la durée.

Cette écriture, très satisfaisante en théorie, ne peut être utilisée directement; en effet, un compositeur médisant la reproduction mégrographique d'une de ses improvisations, non seulement ne pourrait pas la lire au pupitre, mais pour la traduire en notation musicale ordinaire serait forcé de se livrer à un travail long et pénible. C'est pour résoudre cette difficulté que M. Carpentier a imaginé et construit l'appareil qu'il a appelé *mélotron* et un appareil intermédiaire appelé *PERFORATEUR*.

MÉLOTROPE (du grec *melos*, chant; *tropé*, je sers). — Le mélotron de M. Carpentier est un appareil mécanique très ingénieux servant à recréer, au moyen de la relation d'une manivelle, sur un piano ou un clavier quelconque, de la musique enregistrée sur une bande de carton par le mégrographe.

Comme le mélotron n'a rien d'électrique, nous nous contenterons de renvoyer pour la description de cet appareil au n° 734 du 25 juin 1887 de la *Nature* et au n° 39 du mois de juin 1887, du *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*.

MELSSENS (Louis-Henri-Frédéric), savant belge, né à Louvain le 11 juillet 1814, mort à Bruxelles le 20 avril 1886. Professeur de chimie et de physique à l'École de médecine vétérinaire de l'État; examinateur permanent accrédité à l'École militaire; membre titulaire de l'Académie royale des Sciences de Belgique; membre titulaire de l'Académie royale de médecine, de la Société des sciences médicales et naturelles de Bruxelles; membre de plusieurs sociétés savantes de Belgique et de l'étranger; commandeur de l'ordre de Léopold; décoré de la Croix civique de 1^{re} classe; chevalier des ordres de la Légion d'honneur, de Wasa et de François-Joseph.

Melsens, après avoir achevé ses humanités au collège de Louvain, fréquenta, pendant plusieurs années, les bureaux d'une maison de commerce d'Anvers. Mais ayant reconnu son inaptitude pour les «*mœurs commerciales*», ainsi qu'il le disait plus tard, il résolut de cultiver les sciences, vers lesquelles il se sentait entraîné. Il fit, de 1835 à 1847, ses premières études scientifiques à l'université hollando-belge et à celle de Louvain. Il les quitta bientôt pour se rendre à Paris, en vue d'y trouver un milieu d'études spéciales conforme à ses aspirations. Il y rencontra M. Stass, son camarade d'école, qui le recommanda à Dumas, au laboratoire particulier duquel il fut admis, ce conclureur d'où sont sortis bon nombre d'hommes éminents.

Sous la direction de son illustre maître, il se fit bientôt remarquer par ses travaux de chimie organique sur

l'acide acétique. Son travail assidu et sa vive intelligence ont rapidement valu à Melsens, quinquante étranger à la France, la place de préparateur particulier à la Sorbonne et à l'École de médecine de Paris. Cette double fonction n'a pas été sans influence sur la direction d'une partie des travaux ultérieurs de Melsens. Vouant acquiescer un titre académique, il partit pour l'Allemagne, fréquenta le laboratoire de Liebig, y fit quelques travaux; le titre de *doctor philosophi* lui fut accordé (*honoris causa*) par l'université de Giessen, en 1841.

Après ces brillants débuts, Melsens revint en Belgique en 1840; il fut nommé, à titre provisoire, et en 1850 à titre définitif, professeur de chimie et de physique à l'École de médecine vétérinaire de Bruxelles, place qu'il occupa brillamment jusqu'au moment où il reclama sa mise à l'éméritat (1881). Il fut élu correspondant de l'Académie des Sciences de Belgique le 10 décembre 1846, et membre titulaire le 15 décembre 1851; puis membre de l'Académie royale de médecine de Belgique.

L'étendue et la variété des connaissances scientifiques de Melsens, ses aptitudes diverses l'ont porté à s'occuper de sujets qui paraissent en dehors de sa spécialité. Il était surtout chimiste des plus éminents; mais quand il traitait des paratonnerres, de l'électricité d'induction, des batteries de Leyde, de la force élastique des gaz liquéfiables, de l'explosion des chaudières à vapeur, on croyait avoir affaire à un physicien de premier mérite.

Melsens a inventé les **PARATONNERRES** à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples, qui ont déjà rendu les plus grands services. Sans affirmer que ce système soit le dernier mot de la science, on peut dire qu'il est, jusqu'à présent, le plus capable de préserver des dangers de la foudre. Melsens a apporté à la science pratique une idée excellente; elle a trouvé des détracteurs systématiques; c'est dans l'ordre des choses humaines, il ne faut pas s'en étonner ni s'en inquiéter. Mais l'inventeur n'était pas homme à lâcher prise et donner ainsi grinc de cause à ses adversaires; il luita, il défendit dans de nombreuses et savantes publications (insérées en partie au *Bulletin de l'Académie royale des Sciences de Belgique*; les principes qu'il considérait comme rationnels. Ces écrits constituent un exposé complet de la question et contiennent la description d'un grand nombre d'expériences que Melsens avait effectuées en vue d'établir la valeur théorique des dispositions qu'il préconisait. A l'Exposition internationale d'Electricité qui eut lieu à Paris en 1881, le paratonnerre Melsens attira vivement l'attention des spécialistes et donna lieu, au sein du Congrès, à de sérieuses discussions, auxquelles l'inventeur prit une part brillante. La ville de Bruxelles publia en 1877 un grand travail de Melsens intitulé: *Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples*.

— *Description détaillée des paratonnerres établis sur l'Hôtel de ville de Bruxelles, en 1865*. — *Exposé des motifs des dispositions adoptées*. L'exploitation de ses belles découvertes dans un intérêt personnel ne l'a jamais tenu. Son travail incessant n'a jamais eu d'autre objectif que le bien général et le progrès des sciences. C'est ainsi qu'il fit paraître successivement ses travaux sur les paratonnerres qui portent son nom, sur les charbons décolorants, leur fabrication artificielle et la revivification des noirs employés dans l'industrie; sur un nouveau procédé d'extraction du sucre de canne et de betterave; sur l'essai des poudres de guerre, de chasse et de mines; sur la conservation des bois, des écorces et des berrains par le goudron; sur la conservation de la viande; sur les mines de houille

à grison; sur un procédé de fabrication du glucose et de la soude; sur un nouveau procédé de préparation des produits de la distillation des résines. Molsens imprima aussi un essor considérable à la fabrication des bougies stéariques, etc.

(Extrait d'une notice biographique, publiée par M. C. Declaume, dans la *Lumière électrique*, mai 1886.)

MEMBRANE. — Diaphragme vibrant ou plaque vibrante d'un téléphone ou d'un microphone.

MÉRIDIEN MAGNÉTIQUE. — Plan vertical passant en un lieu donné par les deux pôles d'une aiguille aimantée horizontale librement suspendue. M. Mascart, qui se livre depuis 1883 à des travaux suivis sur le magnétisme terrestre, a tracé, à l'aide des observations fournies par les divers observatoires, la carte des méridiens magnétiques (V. MAGNÉTISME TERRESTRE).

Mesmer (Frédéric-Anoine), médecin allemand, auteur de la doctrine du MAGNÉTISME ANIMAL, né à Herznach (Souabe) en 1734, mort à Meisbourg en 1815. Il étudia la médecine et fut reçu docteur à Vienne à l'âge de trente-deux ans. Sa thèse, *De planetarum influxu*, est une réminiscence de l'astrologie judiciaire: il y prétend que les astres, par le moyen d'un fluide subtil répandu dans tout l'univers, influent sur les corps animés. Comme à l'époque où Mesmer se fit recevoir docteur on s'occupait beaucoup à Vienne du traitement des maladies au moyen d'AIMANTS, soit naturels, soit artificiels, Mesmer réussit à se faire un certain nombre de partisans parmi les gens disposés à croire tout ce qui a une apparence de merveilleux. Bientôt il se trouva avoir trouvé dans les propriétés de l'aimant un remède à toutes les maladies. Le Père Hell, jésuite, ayant revendiqué l'honneur de cette prétendue découverte, Mesmer affirma qu'il venait de faire une découverte bien autrement importante, selon lui la plus admirable découverte du siècle. Il prétendit être en mesure d'obtenir les mêmes effets sans le secours de la pierre aimantée: avec la seule puissance magnétique dont les êtres animés sont doués et pouvoir fixer où il voulait le fluide qui regardait comme le grand agent de l'univers. « J'ai rendu magnétiques, écrivait-il en 1773, du papier, de la laine, du cuir, du verre, l'eau, différents métaux, du bois, des hommes, tout ce que je touchais, au point que ces substances produisaient sur les malades les mêmes effets que l'aimant. » Comme le fluide dont il prétendait disposer était différent du magnétisme minéral, il l'appela *magnétisme animal*, en continuant, toutefois, de qualifier ce fluide de fluide universel et d'affirmer qu'il était « le moyen d'une influence mutuelle entre les corps célestes, la terre et les corps animés ». Mesmer se livra alors, avec une nouvelle ardeur, à la thérapeutique magnétique et prétendit guérir les malades. Le fameux médecin Ingenhousz, qui se trouvait alors à Vienne, ayant nié la réalité de la découverte de Mesmer, celui-ci l'appela à assister au traitement qu'il faisait subir à une malade, M^{lle} Oesterline; mais Ingenhousz ne vit dans les procédés de Mesmer qu'une « ridicule supercherie ». D'autres savants, Klinkrosch, le Dr Stork, qui avait mis à sa disposition un des hôpitaux de Vienne, portèrent le même jugement. Mesmer prétendit guérir d'une amoureuse une jeune artiste, M^{lle} Paradis; mais il n'y réussit point. On fut obligé d'arracher de force la jeune malade qu'il soignait dans sa maison; l'affaire fit grand bruit, et Mesmer, prétendant qu'il était victime d'une puissante cabale,

quitta Vienne. Si, par son charlatanisme, il avait excité une vive animosité contre lui dans le monde savant, il n'était pas moins parvenu à se faire à Vienne même et, par suite, en Allemagne des partisans enthousiastes.

Après avoir voyagé quelque temps en Europe, particulièrement en Suisse, il vint enfin chercher fortune à Paris, où sa réputation l'avait précédé. Il arriva dans cette ville en février 1778. D'un extérieur imposant, d'une taille élevée, doué d'un esprit retors et fin, Mesmer devait produire d'autant plus de sensation qu'il prétendait posséder un pouvoir magique et qu'il déclarait opérer des guérisons miraculeuses. Il procéda avec une habileté extrême, se posa en bienfaiteur de l'humanité, et ne voulut d'abord soigner qu'un petit nombre de malades moyennant 40 louis par mois. Aussitôt les malades affluèrent à son hôtel et ce ne fut que « par pure condescendance », déclara-t-il, qu'il consentit à les soigner. Logé à l'hôtel Bouel, dans le quartier de la place Vendôme, Mesmer se mit à traiter les malades réputés incurables; et leur promettait la guérison avec cette assurance qui rend toujours l'espoir aux malades. Pour donner une idée de son outrecuidance, il nous suffira de rapporter un passage d'une de ses lettres au célèbre Franklin: « Je suis comme vous, monsieur, au nombre de ces hommes qui, parce qu'ils ont fait de grandes choses, disposent de la honte comme les hommes puissants disposent de l'autorité. Ma découverte intéresse toutes les nations, et c'est pour toutes les nations que je veux faire mon histoire et mon apologe ».

Quelques cures dues à des moyens fort naturels produisirent une vive sensation, et le nombre de ses partisans s'accrut considérablement.

C'est alors qu'il imagina la fameuse baguette magique qu'il fit accourir tout Paris. Au milieu de la foule agitée, Mesmer se promenait à habit lilas armé d'une baguette magique qu'il tendait sur les individus rétrogrades. Il calmait les convulsions des autres en leur prenant les mains, leur fermant le front, ou opérant sur eux avec les mains ouvertes et les doigts écartés, et en croisant et décroisant les bras avec une rapidité extraordinaire. Lorsque les réunions de la place Vendôme furent décidément à la mode, Mesmer pensa qu'il était temps de faire servir sa renommée à sa fortune. C'est alors qu'il s'adressa au gouvernement pour lui vendre son prétendu secret et « enricher l'humanité » en publiant son système. Il demanda au ministre Maupeou une terre et un château en déclarant que, si on voulait le servir, il guérirait ses malades et la France. Le ministre lui offrit 50,000 livres de rente viagère; Mesmer refusa et partit pour Spa avec quelques-uns de ses malades, parmi lesquels se trouvait l'avocat Bergasse. Pendant son absence, un de ses disciples, le Dr Deslon, de la Faculté de Paris, ouvrit un établissement magnétique très fréquenté où se renouvelèrent toutes les scènes qui avaient fait le succès de Mesmer, et s'adressa au parlement pour demander un examen impartial du magnétisme animal (oct. 1784). Mesmer, voyant Deslon marcher sur ses brisées, se hâta de revenir pour rappeler le public à son fameux baquet. Sur l'initiative de Bergasse, il vendit son prétendu secret à une société de souscripteurs au prix de 100 louis par tête et cette vente lui rendit plus de 340 000 livres, équivalant à un million d'aujourd'hui. Le mesmerisme devint alors, par l'engouement qu'il excita, une sorte de franc-maçonnerie qui eut son siège à Paris et compta en province jusqu'à vingt-quatre sociétés, dites *Sociétés de l'Harmonie*. A la tête de la Société de l'Harmonie se trouvait un grand maître et des

hefs de l'ordre. Pour y être admis, il fallait être âgé de vingt-cinq ans, d'état honnête, de mœurs irréprochables, ne point fumer de tabac et payer une cotisation annuelle d'au moins 60 francs. Les membres formaient trois sections : les associés initiés, les associés correspondants, les initiés élevés. Ce n'est pas sans étonnement qu'on voit figurer parmi les membres de la Société de l'Harmonie La Fayette, d'Éprenouil et le célèbre chimiste Berthollet. Ce dernier, il est vrai, s'était fait attacher à la société moyennant finances, mais en se réservant le droit de critique, dont il ne leva pas à user largement. Un jour, révolté par la comédie qu'il voyait jouer tous les jours à l'hôtel Bourcel, il ne put maîtriser sa colère, et il sortit furieux après avoir reproché vertement à Mesmer son charlatanisme. Cependant, toutes les convictions n'avaient pas été aussi rebelles que celle de Berthollet. Sans parler des gens du monde, si faciles à séduire, l'Érudit Comte de Gréville s'annonça guéri à l'Europe, en exaltant les bienfaits du mesmerisme, et mourut peu de temps après, assis à côté du haquet miraculeux.

Cependant Mesmer ne tenait nullement à livrer à ses souscripteurs son prétendu secret, afin de pouvoir le vendre de la même façon, soit dans d'autres villes de France, soit en Europe. Mais les souscripteurs irrités signalèrent au public sa cupidité et, de dépit, il quitta la France. Mesmer se rendit alors en Angleterre, puis retourna en Allemagne et termina sa vie dans l'oubli et dans l'obscurité.

Mesmer avait toujours humblement décliné l'intervention des corps savants, tels que la Faculté de Médecine et l'Académie des Sciences, qui cherchaient à constater la réalité de sa découverte. Moins prudent, son disciple Deslon provoqua, en 1784, comme nous l'avons dit plus haut, la nomination d'une commission composée de membres de l'Académie des Sciences et de l'Académie de Médecine, qui, par l'organe de Bailly, se prononcèrent contre le mesmerisme.

Mesmer, dit Louis Blanc, se représentait les sphères célestes, la Terre et tous les êtres créés comme plongés dans un immense océan de fluide, par l'intermédiaire duquel ils exerçaient les uns sur les autres une influence permanente. Cette influence, analogue aux propriétés de l'aimant, Mesmer l'appela le *magnétisme animal*. Rassembler une portion du fluide universel, la concentrer, en diriger le mouvement et le courant, la communiquer à son semblable, soit par le contact immédiat, soit, à une certaine distance, par la simple direction du doigt ou d'un conducteur quelconque, c'était magnétiser; et posséder un tel pouvoir, c'était, selon Mesmer, posséder le pouvoir de guérir... Quant aux procédés magnétiques dont l'appareil du haquet n'était qu'une mise en scène fastueuse et inutile depuis superflue, ils offraient l'image de la communication la plus attractive, la plus extraordinaire qui ait jamais été imaginée. C'était en quelque sorte la vie de l'un passant d'une manière visible dans celle de l'autre. Le corps humain était considéré comme ayant un pôle nord, un pôle sud. Les hommes devenaient des barreaux aimantés.

Les idées que Mesmer donnait comme une découverte lui étant propre sont loin d'être neuves. On les trouve émises dans Paracelse, Maxwell, Libavius, Pierre Borel. En outre, « il n'avait pas plus le droit de revendiquer pour lui l'application de ces doctrines à la médecine, dit Hafer; car, bien antérieurement à Mesmer, il est souvent question dans les ouvrages des médecins des cures magnétiques (*cura magnetica*), opérées par l'esprit universel, qui devait réaliser les miracles d'une panacée ».

D'après un écrit intitulé : *Système raisonné du Magnétisme animal d'après le principe de Mesmer* (1756, in-18), le mesmerisme est l'art d'alimenter le corps, de renforcer les poles, d'établir et d'accélérer les courants du fluide magnétique. Le magnétisme et les magnétiseurs se divisent en trois classes, selon les trois moyens principaux de mettre ce fluide en action et de le diriger : 1^o La première, qui à Mesmer pour chef, ne se sert que d'agents physiques; la seconde, dont les principaux agents sont de l'ordre physique et dont les effets en franchissent les bornes connues, a pour chef le chevalier Barbin; la troisième, à la tête de laquelle se trouve M. de Puységur, est un système composé des deux premières classes et étendu par la connaissance de la crise somnambulique.

Mesmer a exposé ses doctrines, entachées de charlatanisme et singulièrement modifiées par les adeptes du magnétisme venus après lui, dans divers écrits, notamment : *Lettre à un médecin étranger sur la cure magnétique* (Vienne, 1773); *Mémoire sur la découverte du Magnétisme animal* (1779, in-12), où il résume son système en vingt-sept propositions; *Précis historique des faits relatifs au Magnétisme animal* (1781, in-8); *Dissertation sur la découverte du Magnétisme à Paris* (1781, in-8); *Lettre sur la fait relatif à la découverte du Magnétisme* (1782, in-8); *Discours sur le Magnétisme et les effets salutaires de l'aimant* (1782, in-8); *Histoire abrégée du Magnétisme animal* (1783, in-8); *Lettres à M. Vieq-d'Azur*, etc. (1783, in-8); *Lettre d'un médecin de Paris à un médecin de province* (1783, in-8); *Mémoire de Mesmer sur ses découvertes* (1799, in-8); *Mesmerismus*, ou *Système du Magnétisme animal* (Berlin, 1815, 2 vol. in-8).

MESURES ÉLECTRIQUES. — Les méthodes de mesure se divisent en deux grandes catégories :

Les **méthodes directes** et les **méthodes indirectes**.

Les premières consistent à comparer les quantités à mesurer à une quantité de même espèce; les secondes, à déduire la grandeur de la quantité à mesurer de la valeur de plusieurs autres quantités connues à l'aide de relations connues.

Nous donnons ci-après la description des principales méthodes actuellement en usage pour effectuer les mesures des résistances, des différences de potentiel et forces électromotrices, de l'intensité d'un courant, des capacités, de la quantité d'électricité, de l'énergie électrique; des machines dynamo-électriques, des machines à lumière et des appareils d'éclairage; des câbles sous-marins (y compris la mesure des capacités électrostatiques et des résistances).

(Ces méthodes ont été indiquées par MM. Kumpé, Hospitalier, Picou, Culley, Blavier, Aimé Witz, Gazin, etc.)

I. — MESURES DES RÉSISTANCES.

Les méthodes à employer pour la mesure des résistances sont très nombreuses; voici les principales :

1^o Mesure de la Résistance des conducteurs.

(a) **Méthode de substitution.** — On dispose dans un même circuit une pile constante P, un GALVANO-

MÈTRE G et la résistance x à mesurer (fig. 1). On note la déviation. On substitue à la résistance x une boîte DE RÉSISTANCES, on débouche les résistances de cette boîte jusqu'à ce que le galvanomètre donne la dévia-

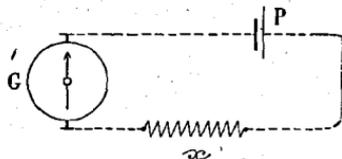


Fig. 1.

tion déjà observée; la somme des résistances débouchées donne la valeur de x .

(b) Méthode par addition à un circuit connu. — Soit R la résistance totale d'un circuit formé d'une pile P , d'un galvanomètre G et d'une boîte de résis-

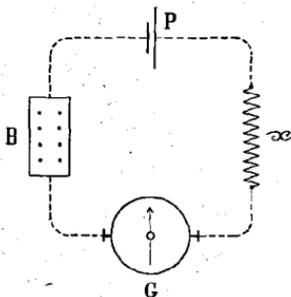


Fig. 2.

tances B (fig. 2), soit d la déviation du galvanomètre. On intercale dans le circuit la résistance inconnue x ; soit d' la déviation, on a l'égalité

$$\frac{d}{d'} = \frac{R+x}{R}$$

d'où

$$x = \frac{d-d'}{d'} \cdot R.$$

(La boîte de résistances B ne sert ici qu'à limiter la déviation du galvanomètre.)

(c) Méthode du pont de Wheatstone. — Cette méthode repose sur le principe suivant : Si entre deux points A et B d'un circuit électrique on établit deux dérivations AMB et ANB (fig. 3), et si on joint deux points M et N de ces dérivations, ayant le même potentiel, aucun courant ne passera dans le fil MN . Mais, comme d'après la loi d'Ohm, les différences de potentiel entre plusieurs points d'un même circuit sont proportionnelles aux résistances des parties du circuit comprises entre ces points, on aura, en appelant P_1, P_2 et p, p' les potentiels des points A, B, M et N et a, b, c, d les résistances des quatre conducteurs formant le losange $AMBN$,

$$\frac{P_1 - p}{a} = \frac{p - P_2}{c} \quad \text{et} \quad \frac{P_1 - p'}{b} = \frac{p' - P_2}{d}.$$

En divisant ces deux égalités membre à membre, il vient

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$$

On conçoit donc que l'on puisse déterminer l'une des quatre résistances, connaissant les trois autres. Si d est la résistance inconnue, on se donnera d

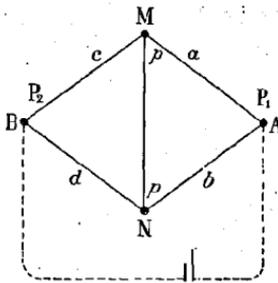


Fig. 3.

priori les résistances a et b et on fera varier la résistance c (cette résistance est ordinairement une boîte de résistances) jusqu'à ce que les points M et N du circuit soient au même potentiel, ce que l'on constate à l'aide d'un galvanomètre intercalé sur le fil MN . Ce galvanomètre ne doit donner aucune déviation; on a alors

$$d = \frac{bc}{a}.$$

La fig. 4 donne la disposition schématique d'un pont de Wheatstone. Le pont est représenté par le losange $ABDC$. La pile P est mise sur la diagonale AD ;

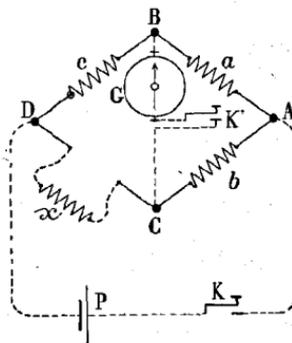


Fig. 4.

les trois résistances a, b, c et la résistance cherchée x sont intercalées dans les branches du losange; le galvanomètre G est placé sur la diagonale BC , enfin deux clefs K et K' permettent, la première K de ne faire passer le courant de la pile P qu'au moment où l'ex-

vérité commença afin d'empêcher cette pile de se polariser, la seconde K' de ne faire passer le courant dans le galvanomètre G que pendant un instant afin d'éviter de l'échauffer ou de le détériorer quand l'équilibre n'est pas encore établi. Il y a même intérêt à arrêter ce galvanomètre au début de chaque expérience dans le cas où on emploie un courant intense. Quand on est presque arrivé à l'équilibre, on enlève

le shunt de manière à rendre à l'instrument toute sa sensibilité et par suite à obtenir la mesure avec toute l'exactitude désirable.

Les résistances a et b des deux branches AB et AC du pont sont généralement formées chacune avec trois résistances de 10, 100 et 1000 ohms. La résistance c est constituée par une boîte de résistances de 1 à 5.000 ohms, dont le total représente 10.000 ohms.

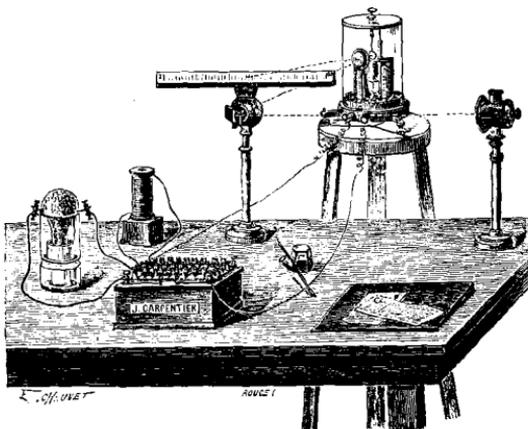


Fig. 5. — Installation complète pour la mesure rapide des résistances. (Méthode du pont de Wheatstone.)

En faisant varier convenablement les résistances a et b , on peut, avec une boîte de 10.000 ohms intercalée dans la branche BD , mesurer des résistances de 0,01 ohm à 1.000.000 d'ohms.

On se sert généralement pour effectuer les mesures de résistances d'un ensemble d'appareils qui se com-

pose, comme nous l'avons vu, d'une boîte de résistances à pont de Wheatstone, d'un galvanomètre Marcel Deprez et d'Arsonval avec échelle à miroir et d'une source d'électricité constante telle qu'une pile Meidinger ou Callaud. Le tout est disposé sur une table d'expériences, ainsi que le montre la fig. 5.

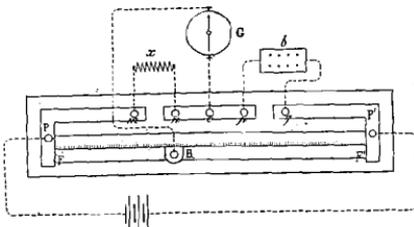


Fig. c.

Au lieu de donner des valeurs constantes aux résistances a et b et de faire varier seulement la résistance c , on peut ne laisser fixe que la résistance b et faire varier le rapport $\frac{a}{c}$ à la condition de laisser constante la somme $a+c$ de ces deux résistances.

L'appareil à l'aide duquel on peut réaliser cette

condition se nomme Pont de Wheatstone à fil de platine et à règle divisée (v. la fig. en perspective à l'article POINTE DE WHEATSTONE); il se compose, ainsi que l'indique la fig. schématique n° 5, d'un fil de platine FF' de 1 mètre de long et de 0,0015 de diamètre tendu entre les extrémités P et P' d'une large et épaisse bande de cuivre rouge coupée en mn et en

pp et parallèle à une échelle de 4 mètres de longueur également, divisée en millimètres de telle sorte que les divisions 0 et 1.000 correspondent aux deux extrémités du fil de platine. Un curseur métallique à poussoir B se déplace le long de cette échelle et peut à un moment donné être mis en contact avec le fil PP'.

On place en pq la résistance fixe b et en mn la résistance à mesurer x . Les fils de la pile sont reliés aux bornes P et P' et ceux du galvanomètre G à la borne c et au curseur B placé au zéro de la graduation. On déplace alors le curseur jusqu'à ce que le galvanomètre ne dévie plus, et à ce moment on lit sur l'échelle la division devant laquelle se trouve ce curseur; soit n millimètres. Le rapport $\frac{n}{1000 - n}$ est égal

au rapport $\frac{x}{a}$ et il suffira de porter sa valeur dans la formule sans s'occuper de la résistance même du fil de platine. On aura donc

$$x = b \cdot \frac{n}{1000 - n}$$

Cet appareil est très commode, surtout quand on a à mesurer des résistances faibles; mais il n'est pas rigoureusement exact, parce qu'il repose sur l'hypothèse que le fil PP' a une résistance uniforme par unité de longueur, ce qui en pratique n'est pas toujours vrai, attendu que le fil peut être oxydé ou éraillé par le curseur.

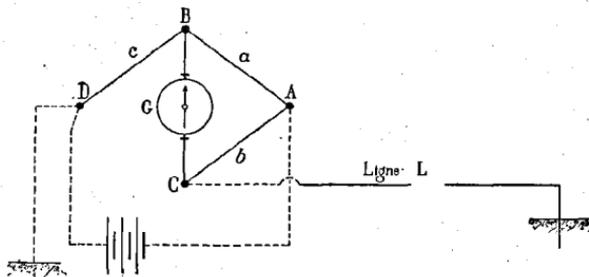


Fig. 7.

Mesure de la résistance d'une ligne aérienne dont une extrémité est reliée à la terre. — Le point D du pont est mis en communication avec la terre (fig. 7) et avec un pôle de la pile, le point C est relié à la ligne L dont l'autre extrémité est mise à la terre. On prend deux fois la mesure de la résistance, comme il a été expliqué plus haut, en ayant soin d'inverser les pôles de la pile. Soient R' et R'' les deux résistances

trouvées, la résistance cherchée R est égale à la moyenne arithmétique de R' et de R'' .

$$R = \frac{R' + R''}{2}$$

Lorsque la ligne est longue et que les terres sont bonnes, on peut considérer que la valeur de R ainsi déterminée est à très peu près exacte. Dans le cas contraire, il faut en déduire la résistance des terres.

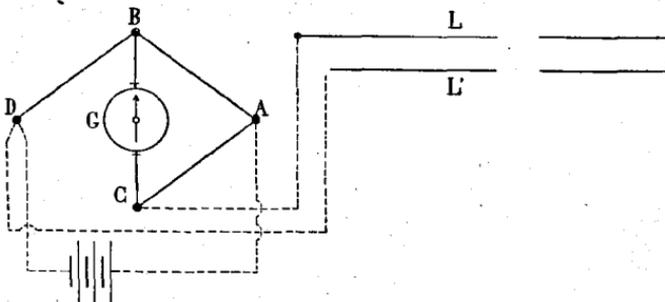


Fig. 8.

Mesure de la résistance de deux lignes parallèles. — On fait boucler les deux lignes L et L' à leur extrémité la plus éloignée, et les deux bouts libres sont réunis aux points D et C du pont (fig. 8). — La

résistance totale étant R, la résistance de chacune des lignes sera $\frac{R}{2}$ dans le cas où elles sont composées de fil de même diamètre. Si les fils sont de dis-

de différent, on partagera la résistance trouvée R deux parties inversement proportionnelles à la section des fils.

Mesure de la résistance de trois lignes. Soient r_1 et r_2 la résistance de chacune des trois lignes. On bouclera ces lignes deux par deux successivement, et qu'il a été expliqué plus haut, et on mesurera les distances combinées.

$$r_1 + r_2 = R_1; \quad r_1 + r_3 = R_2; \quad r_2 + r_3 = R_3;$$

où l'on tire

$$r_1 = \frac{R_1 + R_2 - R_3}{2}; \quad r_2 = \frac{R_1 + R_3 - R_2}{2}; \quad r_3 = \frac{R_2 + R_3 - R_1}{2}$$

Mesure d'une résistance par la boussole de proportion. — La boussole de proportion de M. Carstner permet de mesurer une résistance quelconque, suffit d'intercaler cette résistance dans l'un des circuits de l'instrument, dont l'aiguille donne immédiatement la valeur de la résistance en ohms.

Mesure de la Résistance d'un appareil faisant déjà partie d'un circuit parcouru par un courant.

Dans le cas où l'on a à mesurer la résistance d'un appareil faisant déjà partie d'un circuit parcouru par un courant, on ne peut pas employer la méthode du pont de Wheatstone, car il faudrait interrompre le circuit et prendre la mesure à froid, suivant l'expression consacrée. Pour les bobines des machines électriques et pour les lampes à incandescence, par exemple, la résistance n'est pas la même à froid qu'à chaud, c'est-à-dire lorsque ces bobines ou ces lampes sont au repos ou lorsqu'elles fonctionnent.

On prend alors l'intensité i du courant avec un AMPÈREMÈTRE, et on mesure avec un VOLTMÈTRE la différence

de potentiel E entre les deux extrémités de la résistance inconnue. Cette résistance est alors donnée par la formule d'Ohm $R = \frac{E}{i}$.

Cette méthode nécessite, comme on le voit, deux expériences successives; on peut la simplifier en se servant d'un appareil étalonné, imaginé par MM. Ayrton et Perry, qui donne directement le quotient de la différence de potentiel E par l'intensité i . Cet appareil s'appelle un OHMOMÈTRE.

La mesure se réduit alors à une simple lecture sur un cadran gradué.

3° Mesure de la Résistance des liquides.

La résistance des liquides se détermine par les méthodes déjà indiquées pour les corps solides; seulement, en pratique, on rencontre des difficultés qu'il importe de signaler: il peut arriver que le courant électrique décompose le liquide et produise sur les électrodes qui y plongent une couche de gaz ou d'oxyde. Ce phénomène de POLARISATION tend à faire paraître la résistance plus grande qu'elle ne l'est réellement.

Voici deux procédés qui permettent d'éviter cette difficulté. Le premier est dû à M. Mather: le liquide que doit traverser le courant est enfermé dans un tube entre deux disques métalliques d'un diamètre presque égal à celui du tube. L'un de ces disques est mobile suivant l'axe du tube, l'autre est fixe, de sorte que l'on peut modifier à volonté la distance qui les sépare. On place dans le circuit un galvanomètre dont on note la déviation pour un écartement l des disques. On diminue ensuite cet écartement, soit l' sa nouvelle valeur, on ajoute une résistance R telle que la déviation du galvanomètre demeure constante.

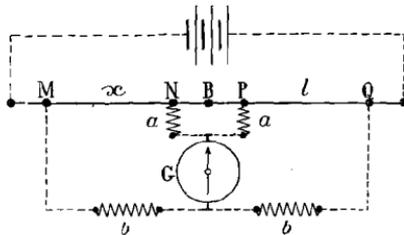


Fig. 9.

D'après la méthode de substitution la quantité R représente la résistance d'une colonne de liquide de longueur $l - l'$.

Le deuxième procédé est dû à Kohlrausch; il consiste à remplacer le courant continu, ordinairement employé, par un courant alternatif. On évite ainsi la polarisation des électrodes; seulement pour effectuer la mesure il faut se servir d'un ÉLECTRODYNAMOMÈTRE ou d'un TÉLÉPHONE.

4° Mesure des très grandes résistances.

On fait passer le courant d'une pile dont on connaît la force électromotrice E dans une résistance x assez grande pour pouvoir négliger la résistance de la pile et celle du galvanomètre. Soit δ la dé-

viation observée, $\delta = \frac{E}{x}$. Si d est la constante du galvanomètre, on aura $x = E \frac{d}{\delta}$ et x sera exprimé en mégohms.

5° Mesures des très faibles résistances.

Dans le cas considéré les mauvais contacts pourraient causer des erreurs importantes; on ne peut donc employer les méthodes ordinaires. On se sert alors du pont de Thomson (fig. 9). Soient x la résistance à mesurer, MN sa longueur, l un fil gradué dont la résistance par unité de longueur est connue; a, a, h, h , quatre résistances égales entre elles deux à deux; G un galvanomètre très sensible.

On déplace les points P et Q jusqu'à ce que le galvanomètre soit au zéro. On aura alors $x = l$.
On peut se servir également, pour mesurer les très faibles résistances, du microohmmètre de M. Maiche.

6° Mesure de la Résistance d'un galvanomètre.

Il y a plusieurs procédés pour effectuer cette mesure.

(a) Méthode de la demi-déviatiou. — On place dans le même circuit une pile, une boîte de résistances et le galvanomètre dont on veut connaître la résistance. A l'aide de la boîte on introduit dans le circuit une résistance R, on note la déviation du galvanomètre; on augmente la résistance jusqu'à ce que l'intensité du courant devienne moitié moindre. Soit R, la résistance introduite pour arriver à ce résultat. La résistance cherchée du galvanomètre sera $G = 2R$.

Cette méthode exige une pile impolarisable, de faible résistance intérieure, et le galvanomètre dont on veut connaître la résistance doit être gradué non en degrés du cercle, mais en unités soit d'intensité, soit de force électromotrice.

(b) Méthode de l'égalé déviation. — On n'a besoin pour l'appliquer que d'une pile de faible résistance, mais très constante. Le galvanomètre peut n'être pas gradué. On l'établit dans le circuit de la

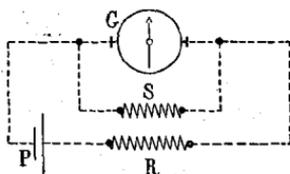


Fig. 10.

pile, ainsi que le montre le schéma (fig. 10). En S est un shunt, en R une boîte de résistances. Une résistance R produit une déviation déterminée. On retire le shunt S et on augmente la résistance; soit R, la nouvelle valeur qui donne la même déviation que dans la première expérience. La résistance du galvanomètre se calcule par la formule $S = \frac{R_1 - R_2}{R_1}$.

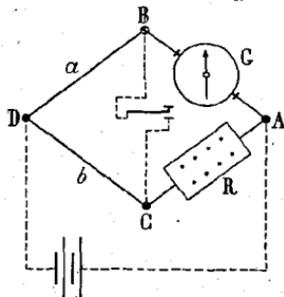


Fig. 11.

(c) Méthode de W. Thomson. — On dispose dans les deux branches AB et AC d'un pont (fig. 11) le gal-

vanomètre G et une boîte de résistances R, dont on débouche des fiches jusqu'à ce que la déviation du galvanomètre reste constante lorsqu'on manœuvre la clef de court circuit. Soit R la résistance à introduire dans la branche AC pour obtenir ce résultat. La résistance du galvanomètre G est égale à $R \cdot \frac{a}{\beta}$.

7° Mesure de la Résistance intérieure des piles.

(a) Quand on dispose d'un nombre pair d'éléments identiques, on les groupe en deux circuits en série et on monte ces deux circuits en opposition. Les forces électromotrices s'annulent et on mesure alors la résistance totale comme celle d'un conducteur ordinaire, par l'une des méthodes indiquées plus haut.

(b) On peut se servir d'un électromètre, d'un condensateur ou d'un galvanomètre à grande résistance, pour déterminer d'abord la différence de potentiel aux deux bornes de la pile. On shunte ensuite avec une boîte de résistances, jusqu'à ce que la différence de potentiel soit réduite de moitié. La résistance connue du shunt est égale à celle de la pile. Cette méthode ne peut s'appliquer que pour les piles impolarisables.

(c) Méthode dite de Mance. — Cette méthode, d'une application facile, n'exige qu'un seul élément; mais elle n'est réellement exacte qu'avec des piles impolarisables, comme celles au sulfate de cuivre.

On intercale la pile à mesurer P (fig. 12) dans la

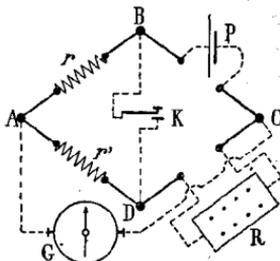


Fig. 12.

branche BC d'un pont de Wheatstone, la boîte de résistances R dans la branche DG, enfin deux résistances r et r' dans les branches AB et AD. Les deux bornes A et C sont reliées à un galvanomètre G, et les deux bornes B et D à une clef de court circuit K; on débouche le nombre de résistances convenables de la boîte R pour que la déviation du galvanomètre ne change pas lorsque la clef K est ouverte ou fermée, et on a alors la relation

$$x^2 = ar$$

(en appelant x la résistance intérieure de la pile et a la valeur des résistances débouchées dans la boîte R), on en déduit

$$x = \frac{ar}{r'}$$

Dans la pratique on s'arrange de manière que les résistances r et r' soient égales. On a alors $x = a$.

f) **Méthode de Mance modifiée par M. d'Infrève.** — La méthode de Mance est simple; mais on emploie des galvanomètres très sensibles, comme ceux de Thomson ou de MM. Marcel Deprez l'Arsonval, il arrive souvent que l'image lumineuse de l'échelle de l'instrument. On a alors proposé de placer près du galvanomètre un **AIMANT directeur**

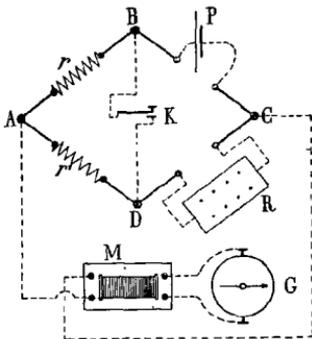


Fig. 13.

ont l'action est contraire à celle du courant; mais en opérant ainsi on diminue trop la sensibilité du galvanomètre et par suite la mesure est moins exacte.

M. d'Infrève résout la difficulté en remplaçant, sur la diagonale AC du pont, le galvanomètre par le circuit inducteur d'une bobine d'induction M (fig. 13)

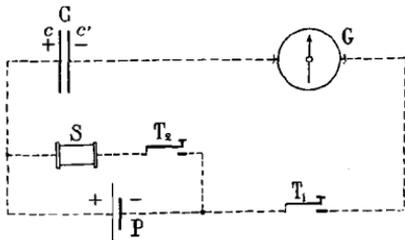


Fig. 14.

l'usage de ne pas polariser la pile entre mesure, celle-ci pouvant être considérée comme en circuit ouvert.

(f) **Méthode des appareils étalonnés.** — Avec un **VOLTMÈTRE** bien gradué et sensible, on détermine la force électromotrice E à circuit ouvert; puis, à l'aide d'un **AMPÈRÈMÈTRE**, on mesure l'intensité I , en ayant soin, pour faire cette dernière expérience, d'intercaler dans le circuit une résistance de valeur connue. Pendant qu'on mesure l'intensité I , on branche le voltmètre aux bornes de la pile de façon à déterminer leur différence de potentiel d . Soient r la résis-

et il met le circuit induit de cette bobine en communication avec le galvanomètre G . Dans ces conditions l'aiguille de cet instrument reste immobile tant que le courant qui passe dans le fil inducteur est constant. Si au contraire l'intensité de ce courant varie, un courant induit prend naissance et fait dévier l'aiguille du galvanomètre. On modifie les résistances de la bobine R jusqu'à ce que la fermeture et l'ouverture de la clef de court circuit K ne produisent plus de déviation dans le galvanomètre. Cette méthode est d'autant plus précise qu'on n'est jamais obligé de diminuer la sensibilité du galvanomètre.

(g) **Méthode de Munro.** — Cette méthode est applicable à toutes les piles; elle donne des résultats très exacts.

Soient P la pile dont on veut mesurer la résistance intérieure, C un condensateur d'un **MICROFARAD**, G un galvanomètre, S un shunt de résistance connue mais de valeur quelconque, T_1 et T_2 des clefs de contact (fig. 14).

On presse la clef T_1 ; il s'accumule une charge d'électricité positive sur la lame c du condensateur et une charge d'électricité négative sur la lame c' ; le galvanomètre dévie, par exemple vers la droite, soit d , la déviation observée. On presse ensuite la clef T_2 , tout en maintenant au contact la clef T_1 , ce qui a pour effet de réunir les pôles de même nom du condensateur et de la pile, dont les courants réunis traverseront le shunt S . Le galvanomètre étant parcouru par un courant de sens contraire à celui émis par la pile seule, dans la première partie de l'expérience, déviara vers la gauche; soit d' cette déviation. On aura alors pour la valeur r de la résistance intérieure de la pile

$$r = \frac{sd}{d' - d}$$

La méthode de Munro présente le grand avan-

tage de ne pas polariser la pile entre mesure, celle-ci pouvant être considérée comme en circuit ouvert.

lance de la pile et R la résistance du circuit extérieur on a

$$I = \frac{E}{R+r}, \quad I = \frac{d}{R'}$$

d'où on déduit

$$r = \frac{E - RI}{I} = \frac{E - d}{I}$$

8° Mesure de la Résistance d'isolement d'une ligne aérienne.

On établit en circuit un galvanomètre des tangentes (soit G sa résistance), une pile et une résistance fixe

de 1.000 ohms. On note la déviation d . On enlève la résistance, on fixe le pôle libre de la pile à la terre et l'un des bouts de la ligne au galvanomètre, l'autre bout restant isolé. On obtient une deuxième déviation d' .

L'isolement R_i de la ligne sera $R_i = 1000 \frac{d}{d'}$. Pour rendre négligeable l'influence du courant terrestre, il est bon de se servir d'une pile composée de 30 à 40 couples Daniell réunis en tension.

Si la ligne a une longueur de n kilomètres, l'isolement kilométrique est R_n .

Cet isolement ne doit pas être inférieur à 300.000 ohms pour les lignes bien établies.

Cette méthode de calcul n'est pas très exacte, car elle suppose que la perte est la même en chaque point de la ligne, condition qui ne se réalise pas en pratique.

On peut opérer un peu plus exactement en tenant compte de la résistance G du galvanomètre et de la résistance totale r de la pile. Dans ce cas la résistance d'isolement est

$$R_i = (1000 + r + G) \frac{d}{d'} - (r + G).$$

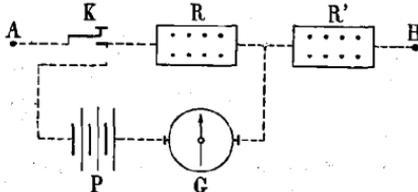


Fig. 15.

faible pour ne pas altérer sensiblement le régime de circulation dans le reste du circuit.

Les **VOLTMÈTRES** de MM. Marcel Deprez, Ayrton et Perry, etc., sont construits avec plusieurs milliers d'ohms de résistance; ils sont gradués directement en volts et servent industriellement à mesurer les courants des machines, des lampes, etc.

(b) **Méthode d'opposition.** — On établit entre les deux points A et B un galvanomètre et n éléments de pile réunis en série, donnant un courant d'une force électromotrice E et dirigé dans un sens opposé à celui qui circulerait entre A et B si ces deux points étaient reliés par un conducteur. On fait varier le nombre des éléments jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre revienne au zéro ou, si l'on ne peut y arriver, jusqu'à ce qu'on obtienne deux déviations de sens contraire pour les nombres d'éléments n et $n+1$.

La différence de potentiel D est alors comprise entre les deux valeurs nE et $(n+1)E$.

L'approximation est $\frac{E}{2}$; elle est suffisante en pratique.

(c) **Méthode d'opposition partielle.** — Entre les points A et B on dispose deux boîtes de résistances R et R' , un galvanomètre G et une pile P de n éléments (fig. 15).

On modifie les résistances de ces boîtes jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre reste au zéro, et la différence de potentiel cherchée est alors donnée par la formule

$$nE \frac{R + R'}{R}$$

Les mesures ainsi faites sont assez précises.

II. — MESURES DES POTENTIELS ET DES FORCES ÉLECTROMOTRICES.

La différence de potentiel entre deux points d'un système électrisé ou d'un circuit électrique peut se mesurer par voie directe ou par voie indirecte.

La **mesure directe** exige l'emploi d'un électromètre.

Les **méthodes indirectes**, fort nombreuses, sont basées sur l'emploi des GALVANOMÈTRES.

Voici les principales :

(a) **Méthode des galvanomètres étalonnés ou voltmètres.** — Soit D la différence de potentiel à mesurer entre deux points A et B. Il suffit de mesurer à l'aide du galvanomètre l'intensité du courant qui circule entre A et B et on déduit par la loi d'Ohm la différence de potentiel. Il faut connaître, bien entendu, la fonction qui relie les intensités aux déviations de l'instrument, et la résistance de ce dernier doit être assez grande pour qu'en l'intercalant entre A et B, le courant qui le traverse soit suffisamment

Mesure de la force électromotrice d'une pile.

La force électromotrice d'une pile est égale à la différence de potentiel à ses bornes lorsque le circuit est ouvert. À défaut d'étalon de force électromotrice on mesure la force électromotrice d'une pile par comparaison avec une autre prise comme unité et on l'exprime ensuite en unités pratiques, c'est-à-dire en volts et fraction de volt en multipliant le résultat trouvé par la force électromotrice de la pile dont on a fait usage (v. PILES ÉTALONS).

Voici les principales méthodes :

(a) **Méthode de l'égalé résistance.** — Soit r la résistance intérieure de l'élément dont on cherche la force électromotrice. On installe dans le circuit de ce pile un galvanomètre et une boîte de résistances, et on mesure l'intensité I du courant; on remplace la pile par la pile étalon, on détermine l'intensité I' du courant et on a

$$\frac{E}{R} = \frac{I}{I'}$$

équation dans laquelle E est seule inconnue.

Les intensités I et I' sont exprimées par les tangentes ou les sinus des déviations, suivant la nature du galvanomètre employé.

(b) **Méthode de l'égalé déviation.** — On établit dans le même circuit la pile étalon, le galvanomètre (qui n'a pas besoin d'être gradué) et la boîte de résistances. On détermine la résistance totale R qui se compose de la résistance débouchée dans la boîte, de la résistance du galvanomètre et de la résistance r de

pile. On remplace la pile étalon par celle dont on cherche la force électromotrice, on modifie les résistances de la boîte de façon à obtenir la même déviation que dans l'expérience précédente, on mesure la résistance totale R' et on a

$$\frac{E}{E'} = \frac{R}{R'}$$

de laquelle on tire la valeur de E , puisque les deux autres termes sont connus.

Dans ces deux méthodes on peut négliger la résistance intérieure r des éléments, pourvu que la résistance G du galvanomètre et les résistances débranchées dans la boîte soient très grandes. Ou a, dans ce cas, en appelant e et e' ces dernières résistances,

$$\frac{E}{E'} = \frac{e + G}{e' + G}$$

(c) **Méthode de Wheatstone.** — La pile étalon étant mise en circuit avec un galvanomètre et une boîte de résistances, on note la déviation obtenue d , puis on ajoute une résistance r ; on obtient une nouvelle déviation d' plus petite que d . On remplace la pile étalon par celle dont on cherche la force électromotrice,

on modifie les résistances de la boîte de manière à obtenir dans le galvanomètre la déviation d observée dans la première expérience, on augmente ensuite la résistance d'une quantité r' telle que la déviation devienne d' , et on a alors, en désignant par e et e' les forces électromotrices de l'étalon et de la pile à mesurer,

$$\frac{e}{e'} = \frac{r}{r'}$$

d'où on tire e' . On voit qu'on peut se servir d'un galvanomètre non étalonné et que la valeur de e est indépendante de la résistance intérieure de l'élément.

(d) **Méthode de Lacaze et Lumsden.** — La pile étalon P et la pile P' dont on cherche la force électromotrice sont placées dans un circuit comprenant deux boîtes de résistances R et R' et un galvanomètre en dérivation, ainsi que le montre la fig. 16. On modifie la résistance de la boîte R' jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre revienne à zéro, et à ce moment on a

$$\frac{e}{e'} = \frac{R}{R'}$$

d'où l'on tire e' .

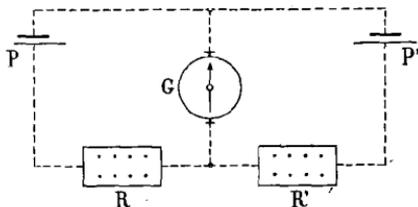


Fig. 16.

Si les résistances intérieures des piles P et P' ne sont pas négligeables par rapport aux résistances R et R' , on fait une première expérience dans les conditions indiquées plus haut; puis on diminue la valeur de R ; soit cette nouvelle valeur, on modifie les résistances de l'autre boîte pour ramener l'aiguille du

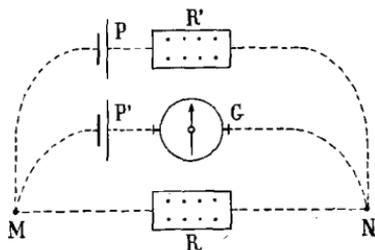


Fig. 17.

galvanomètre à zéro; soit r' la résistance qui satisfait à cette condition, on a alors

$$\frac{e}{e'} = \frac{R - r}{R' - r'}$$

d'où l'on tire e' .

(e) **Méthode de Poggendorf.** — On place les piles P et P' dans deux circuits distincts comprenant, l'un une boîte de résistances R' , l'autre un galvanomètre G . Ces deux circuits aboutissent aux deux extrémités d'un troisième circuit MN dans lequel est intercalée la boîte de résistances R (fig. 17). On modifie les

résistances R et R' , de façon à amener l'aiguille du galvanomètre à zéro, et on a, en appelant r la résistance intérieure de la pile étalon P ,

$$\frac{e}{r} = \frac{R + R' + r}{R}$$

On peut se dispenser de déterminer r , à condition de faire une deuxième expérience identique à la précédente, mais dans laquelle R et R' sont remplacées par des résistances plus faibles e et e' . On a alors une deuxième équation

$$\frac{e'}{r} = \frac{e + e' + r}{e}$$

en éliminant r entre ces deux équations on arrive à la formule

$$\frac{e}{e'} = \frac{(R - e) + (R' - e')}{R - e'}$$

(f) *Méthode de Clarke.* — C'est une modification et un perfectionnement de la précédente.

Cette méthode nécessite l'emploi de deux galvanomètres et de trois piles, savoir : la pile étalon, la pile à mesurer et une pile auxiliaire. Comme les deux premiers de ces piles sont comparés dans les mêmes conditions, sans qu'aucun courant les traverse, il n'y a à craindre aucune erreur provenant de la polarisation.

Voici comment on dispose les appareils : soit (fig. 18) une bobine de fil nu en alliage de platine et d'iridium d'une résistance de 40 ohms, faisant 400 tours sur un cylindre d'ébonite tournant sur son axe AB, et P une pile auxiliaire; dans le circuit de cette pile est un rhéostat R' . P' est la pile étalon, P'' la pile à mesurer. Le galvanomètre G , intercalé dans le circuit de la pile P' , a son aiguille à zéro (ou modifie en conséquence le rhéostat R). Le galvano-

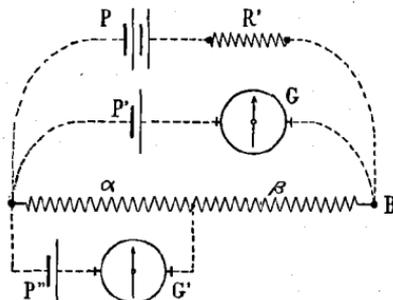


Fig. 18. — Méthode de Clarke.

mètre G' , intercalé dans le circuit de la pile P'' , est relié à un contact glissant sur la bobine. En déplaçant ce contact on amène l'aiguille du galvanomètre G' à zéro. En désignant par a et b les deux parties de la résistance R de la bobine et par e et e' les forces électromotrices des piles P' et P'' , on a la relation

$$\frac{e}{e'} = \frac{a + b}{R}$$

Le rhéostat AB étant gradué, on lit directement le rapport sur l'échelle.

Si la pile à mesurer est plus puissante que la pile étalon, on la met à la place de cette dernière.

(g) *Méthode de Law.* — En principe elle consiste à charger avec la pile étalon et avec la pile à mesurer successivement un même CONDENSATEUR. Le rapport des charges est égal à celui des forces électromotrices; ces dernières sont mesurées au moyen d'un galvanomètre balistique.

Cette méthode est d'une application très délicate.

(h) *Méthode de M. Hospitalier.* — Voici une méthode très élégante, indiquée par M. Hospitalier.

On prend un galvanomètre aperiodique G de MM. Deprez et d'Arsonval, et on l'intercale ainsi qu'une résistance R de 10.000 ohms dans le circuit d'un élément étalon P (modèle du Post-Office) [fig. 19]. Cet élément a une force électromotrice de 1,07 volt. On s'arrange, au moyen d'un shunt variable S (une boîte de résistances par exemple), pour que l'image

lumineuse formée sur l'échelle du galvanomètre dévie de $0^m,107$, ce qui est facile à obtenir. Chaque déviation de $0^m,004$ représentera donc $1/100$ de volt, avec une erreur pratique de $1/100$, ce qui est négligeable. Si donc on remplace l'élément étalon par celui à essayer et que l'on constate une déviation de $0^m,148$, on saura que cet élément a une force électromotrice de 1,48 volt à $1/100$ près.

Les déviations se mesurent par la somme de deux

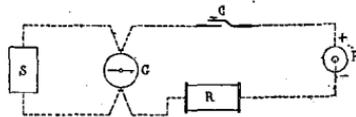


Fig. 19. — Méthode de M. Hospitalier.

déviations à droite et à gauche en inversant le courant, ce qui évite les erreurs dues au couple de torsion des fils de suspension du cadre du galvanomètre.

La méthode que nous venons d'indiquer présente deux avantages : le galvanomètre n'a pas besoin d'être étalonné d'avance, puisqu'on l'étalonne au moment même de s'en servir à l'aide de l'élément du Post-Office; et l'élément, étant intercalé dans un circuit présentant une résistance de 10.000 ohms, peut être regardé comme en circuit ouvert et par conséquent ne se polarise pas pendant la durée de l'expérience.

1° Mesure de l'intensité du courant en unités CGS par le galvanomètre des tangentes.

Si on a un galvanomètre à cadre circulaire dont l'aiguille est assez courte pour que les tangentes des angles de déviation puissent être considérées comme proportionnelles aux intensités, l'intensité du courant qui traverse ce galvanomètre est donné par la formule

$$I = \frac{r}{2\pi n} \cdot H \cdot \operatorname{tg} \delta,$$

n unités CGS.

Dans cette formule r est le rayon du cadre en centimètres, n le nombre de tours du fil, H la composante orientale du MAGNÉTISME TERRESTRE (en dynes, unités CGS) et δ l'angle de déviation.

Comme 1 ampère = $\frac{1}{10}$ d'unité CGS, la valeur de I en ampères est

$$I = \frac{r}{2\pi n} \cdot H \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \frac{1}{10}.$$

2° Mesure indirecte de l'intensité d'un courant.

1^{re} méthode. — Lorsque le courant est très intense et que l'on ne peut intercaler directement un galvanomètre dans le circuit, on mesure la différence de potentiel E entre deux points du circuit séparés par une résistance connue R , et on a

$$I = \frac{E}{R}.$$

Le méthode de M. Hospitalier pour la mesure des courants électromotrices (méthode décrite plus haut) peut servir à mesurer la différence de potentiel aux extrémités de la résistance connue R . Avec la disposition citée, si $R = 4$ ohm, la somme des deux lectures ou déviations donne I en centièmes d'ampère. On modifie R suivant l'intensité du courant à mesurer, autrement dit on diminue R d'autant plus que l'intensité à mesurer est plus forte.

2^e méthode. — On fait traverser par le courant à mesurer un voltamètre à cuivre ou à argent. Au bout d'un temps déterminé (t secondes) on pèse le dépôt, on calcule par les équivalents électro-chimiques le nombre Q de coulombs correspondant et on en déduit I par la formule $I = \frac{Q}{t}$ ampères.

3^e méthode. — On mesure aussi l'intensité avec des appareils étalonnés (V. AMPÈREMÈTRE et ÉLECTRO-DYNAMOMÈTRE). Les ampèremètres ne sont propres qu'à la mesure des courants continus de même sens. Dans le cas de courants périodiques redressés, ces instruments donnent que l'intensité moyenne du courant; ils ne sont pas applicables aux courants alternatifs. Les électro-dynamomètres, au contraire, dont les déviations sont indépendantes du sens du courant, peuvent servir à mesurer les courants alternatifs.

IV. — MESURE DES CAPACITÉS.

Elles s'effectuent par comparaison avec un condensateur étalon et un galvanomètre balistique. Elles se s'appliquent guère qu'aux câbles sous-marins (V. MESURE DES CÂBLES). Du rapport des déviations obtenues on déduit le rapport des capacités.

Pour mesurer la quantité d'électricité fournie par un élément de pile Leclanché, par exemple, on met ses deux pôles en communication avec un voltamètre à sulfate de cuivre composé de deux lames de cuivre rouge ayant chacune 1 décimètre carré de surface et séparées par un intervalle de 0^m,02 à 0^m,03. Ces lames plongent dans un bain saturé de sulfate de cuivre et légèrement acidulé pour le rendre plus conducteur. On note l'heure et la date du commencement de l'expérience après avoir pesé la lame négative ou CATHODE; lorsque l'élément n'indique plus au voltamètre aucune trace de courant malgré l'entretien parfait du couple, il est pratiquement épuisé et ne donnerait plus, du reste, de dépôt de cuivre sur la cathode.

On note alors de nouveau l'heure et la date, et on repèse la lame négative. La quantité de cuivre déposée sur la cathode indique le nombre de coulombs fournis par la pile essayée. On se base pour faire ce calcul sur le fait connu qu'un ampère-heure ou 3.600 coulombs forment un dépôt de cuivre de 1,177 grammes, ou bien qu'il faut 3.958,60 coulombs pour déposer 1 gramme de cuivre.

Exemple : soit 70 grammes le poids du cuivre déposé et 41 jours la durée de l'expérience; les 70 grammes de cuivre équivalent à la production d'une quantité d'électricité $Q = 3.058,60 \times 70 = 214.102$ coulombs; la formule $I = \frac{Q}{t}$ nous donnera l'intensité moyenne du courant. Le nombre de secondes de fonctionnement étant de 3.542.400 et Q étant égal à 214.102 coulombs, nous aurons

$$I = \frac{214.102}{3.542.400} = 0,0604 \text{ ampère.}$$

M. Edison a imaginé un voltamètre, appelé COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ, composé de deux électrodes de zinc plongeant dans une dissolution de sulfate de zinc. Les plaques sont pesées tous les mois et le nombre de milligrammes de zinc déposé permet de calculer en ampère-heures la quantité d'électricité fournie, sachant qu'un ampère-heure dépose 1,228 milligrammes de zinc. Ce compteur d'électricité se place en dérivation sur la conduite principale, de façon à n'y laisser passer que la centième ou la millième partie du courant total. Cet instrument est principalement employé par la maison Edison pour les installations d'éclairage.

VI. — MESURE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

On mesure le plus souvent l'énergie produite ou consommée par un appareil électrique par une méthode indirecte : on mesure séparément les éléments qui concourent à la production de cette énergie et on les introduit dans une équation donnant la valeur cherchée.

Exemple : Quelle est la puissance P consommée par un appareil électrique quelconque ?

On mesurera l'intensité I du courant qui le traverse et la différence de potentiel E à ses bornes; et on aura alors $P = EI$ watts, ou $P = \frac{EI}{9}$ kilogrammètres. Si on veut exprimer P en chevaux-vapeur, il suffit de se rappeler que 1 cheval-vapeur = 736 watts, et que dès lors $P = \frac{EI}{736}$ chevaux-vapeur.

C'est cette formule que l'on emploie généralement pour calculer la puissance absorbée par un foyer de lumière, une résistance, un moteur, etc.

Il existe aussi des appareils donnant directement ces valeurs; on les appelle VOLTAMPÈRÈMÈTRES ou WATTMÈTRES. (V. COMPTEURS D'ÉLECTRICITÉ.)

VII.—MESURE DES MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES.

En pratique on peut avoir à résoudre les problèmes suivants :

- 1° Détermination de la résistance R d'une machine dynamo-électrique à froid et à chaud;
- 2° Détermination de l'intensité I et de la force électromotrice E du courant fourni par une machine dynamo-électrique;
- 3° Détermination du champ magnétique de la machine en unités CGS;
- 4° Détermination de l'effet utile d'une machine dynamo-électrique ayant dans son circuit des lampes électriques ou un rhéostat de résistance connus;
- 5° Détermination du rendement électrique total et du rendement utilisable industriellement;
- 6° Détermination de la CARACTÉRISTIQUE d'une machine dynamo.

1° Détermination de la résistance R.

(a) *Détermination de la résistance à froid.* — On mesure, au moyen de la méthode du PONT DE WHEATSTONE, la résistance des INDUCTEURS et celle de l'ANNEAU.

(b) *Détermination de la résistance à chaud.* — On pourrait la calculer connaissant la longueur et le diamètre des fils de l'inducteur et de l'anneau et la température de ces deux organes au bout d'un nombre d'heures de fonctionnement suffisant pour que la température ait acquis un régime constant. Mais, comme il ne serait pas facile pratiquement de mesurer cette température pendant le fonctionnement de la machine, on préfère mesurer la résistance à chaud par la méthode du pont de Wheatstone, et on fait alors cette mesure immédiatement après avoir arrêté la machine, et assez rapidement pour que sa température n'ait pas sensiblement baissé pendant l'expérience.

2° Détermination de l'intensité I et de la force électromotrice d'une machine dynamo.

Il y a lieu de considérer deux cas, suivant qu'il s'agit d'une machine à courant continu ou d'une machine à courant alternatif.

Premier cas (Machine à courant continu). — Pour mesurer l'intensité I on peut opérer de deux façons :

(a) On intercale dans le circuit un AMPÈRÈMÈTRE étalonné qui donne directement la valeur de I.

(b) On mesure la différence de potentiel E aux bornes d'une résistance connue r intercalée dans le circuit et convenablement choisie pour ne pas s'échauffer sensiblement par le passage du courant. Ce sera, par exemple, une grille en mallecohort. La formule d'Ohm $I = \frac{E}{r}$ donne la valeur de I.

Pour mesurer la force électromotrice on détermine :

(a) Par la méthode du pont de Wheatstone, la résistance R de la machine;

(b) Au moyen d'un VOLTMÈTRE ou d'un ÉLECTROMÈTRE, la différence de potentiel aux bornes de la machine; soit E₁ cette différence;

(c) Au moyen d'un ampèrètmètre, l'intensité I du courant.

La force électromotrice du courant E sera donnée par la formule

$$E = E_1 + RI.$$

Deuxième cas (Machine à courant alternatif). — Ce qui précède s'applique aux machines à courant continu; pour celles à courant alternatif on emploie une méthode plus simple, due à M. Joubert, qui nécessite l'emploi de l'électromètre à cadran de M. Mascart.

Si on désigne respectivement par P et P' le potentiel de chaque paire de quadrants, par α la déviation de l'aiguille lorsqu'elle est reliée à la paire de quadrants P, par K une constante dépendant de l'appareil et de l'écartement de la suspension biliaire, on aura

$$d = \frac{K}{\alpha} (P - P').$$

Pour déterminer K, on met chaque paire de quadrants respectivement en communication avec les deux pôles d'une pile de n éléments de force électromotrice e montés en série; on lit la déviation produite et l'on en déduit

$$K = \frac{nd}{n'e},$$

en exprimant e en volts. L'appareil donne les valeurs de P - P' en volts et les valeurs de I en ampères.

Pour déterminer l'intensité du courant fourni par la machine, on intercale dans le circuit à mesurer une résistance connue R (soit en fils rectilignes, en charbon, etc., mais ne possédant pas de SELF-INDUCTION), dont on relie les deux extrémités aux deux paires de quadrants. Ces derniers prennent les potentiels de ces deux extrémités et font dévier l'aiguille d'une quantité de δ degrés dont la valeur en volts est donnée par la formule établie plus haut $d = \frac{K}{\alpha} (P - P')$; P et P' étant les potentiels respectifs aux extrémités de la résistance R. En appliquant la loi d'Ohm on a

$$I = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{rd}{K}},$$

et en posant

$$\sqrt{\frac{r}{K}} = a,$$

la formule se simplifie et devient

$$I = \frac{a\sqrt{d}}{R},$$

qui donne l'intensité moyenne.

Quant à la force électromotrice (P - P') entre les différents points du circuit, elle se calcule à l'aide de la formule

$$P - P' = \sqrt{\frac{rd}{K}},$$

dans laquelle δ représente la déviation obtenue lorsque les quadrants sont reliés à deux points donnés de ce circuit.

On peut mesurer directement la différence de potentiel moyenne entre les différents points du circuit traversés par des courants alternatifs à l'aide de l'ÉLECTROMÈTRE.

3° Détermination du champ magnétique H.

Pour déterminer en unités CGS le champ magnétique H_z d'une machine à courant continu, il faut

montrer préalablement la section transversale S_a de l'anneau et le nombre total N des spires de cet anneau (ces renseignements sont donnés par le constructeur). Il faut ensuite mesurer : la force électromotrice totale E par la méthode donnée ci-dessus; et vitesse angulaire ω de la machine en tours par seconde, ce qui s'obtient à l'aide du compte-tours et impie-secondes réunis, de M. Desclieux. Le flux de force dans chaque moitié de l'anneau sera $\frac{1}{2} H_a S_a$, et le flux total produit par les inducteurs sera $2 H_a S_a$. Si l'on considère une spire unique placée sur l'anneau et tournant avec lui de 180° , en partant de la position pour laquelle le flux est maximum pour arriver jusqu'à celle où il est de nouveau maximum mais de signe contraire, la variation totale du flux dans la spire unique sera $2 H_a S_a$.

On sait, d'autre part, d'après les formules de l'induction, que la force électromotrice moyenne développée dans un circuit fermé pendant un temps donné est égale au rapport de la variation du flux au temps de cette variation.

Si nous désignons par t le temps en secondes que met l'anneau à faire un tour, la durée de la variation du flux aura été de $\frac{t}{2}$ secondes, et la force électromotrice moyenne E , exprimée en unités CGS, sera

$$E = \frac{4H_a S_a}{t}$$

Si N désigne le nombre total des spires de l'anneau, et si en Δt chaque instant $\frac{N}{2}$ en tension de chaque côté de l'anneau (les $\frac{N}{2}$ autres spires étant moultées en dérivation par rapport aux $\frac{N}{2}$ premières), la force électromotrice E sera en unités CGS

$$E = \frac{2NH_a S_a}{t}$$

ou en volts

$$E = \frac{2NH_a S_a}{t} \times 10^{-8}$$

Enfin ω étant la vitesse angulaire $\frac{2\pi}{t}$, la formule deviendra en introduisant cette vitesse angulaire

$$E = 2N\omega H_a S_a \times 10^{-8}$$

E étant exprimé en volts, on tire de cette formule

$$H_a = \frac{E}{2N\omega S_a} \times 10^{-8}$$

Cette valeur de l'intensité moyenne du champ magnétique H_a est limitée par un coefficient de saturation dépendant de la nature du fer employé. Si ce fer est très pur et très bien recuit, cette intensité peut atteindre 25.000 unités CGS. Mais en pratique on ne va pas aussi loin. D'ailleurs la valeur de H_a qui dépend du service demandé à la machine, oscille généralement entre 12.000 et 20.000 unités CGS.

5^e Détermination de l'effet utile d'une machine dynamo ayant dans son circuit des lampes ou un rhéostat de résistances connues.

Étant donné que la dynamo est actionnée par une machine à vapeur ou par une machine hydraulique, on peut facilement connaître le nombre de chevaux-vapeur absorbés par cette dynamo. D'autre part, il est

facile de se rendre compte expérimentalement du nombre de lampes électriques d'un type connu qu'elle peut faire fonctionner, ce qui permet de connaître le nombre de watts consommés dans le circuit extérieur. A défaut de lampes on peut mettre dans ce circuit un rhéostat de résistance connue et mesurer la différence de potentiel à ses deux bornes. La formule $\frac{E_1}{g} - \frac{R_1}{g}$ donnera alors le nombre de watts consommés dans le rhéostat.

Connaisant la force en chevaux T absorbée par la machine et le travail T' produit dans le circuit extérieur, on en déduira l'effet utile $\frac{T'}{T}$ ou rendement industriel de la dynamo.

5^e Détermination du rendement électrique total et du rendement utilisable industriellement.

Le rendement électrique d'une machine dynamo est le rapport entre le travail mécanique qu'elle absorbe et l'énergie électrique totale qu'elle produit.

On mesure le travail mécanique au moyen d'un dynamomètre de transmission, et l'énergie électrique se calcule par la formule $\frac{E_1}{g}$ (V , plus haut.)

Quant au rendement utilisable industriellement, il est donné par la formule $\frac{E_1}{g}$, dans laquelle e est la différence de potentiel aux bornes de la machine. Nous ferons remarquer que le travail consommé inutilement dans la machine, et qui est donné par la formule $\frac{R_1}{g}$

(R étant la résistance de cette machine), est transformé en chaleur; ce travail est exprimé par la formule précédente en kilogrammètres. Si on ne peut supprimer complètement cette perte de travail, il est possible dans certains cas de l'atténuer en diminuant la valeur de R .

Méthode de M. Hopkinson. — M. Hopkinson a imaginé une méthode aussi élégante qu'ingénieuse pour mesurer le rendement industriel des dynamos; bien qu'elle ne soit pas applicable à tous les cas, elle a permis dans certaines circonstances d'obtenir des renseignements très exacts et d'éclaircir les doutes qui existaient sur la théorie des machines électriques considérées soit comme génératrices soit comme réceptrices.

Cette méthode consiste à réunir mécaniquement, par un manchon, les axes des inducteurs de deux dynamos aussi semblables que possible et à les faire tourner simultanément à l'aide d'une poulie montée sur le manchon. Dans ces conditions, après avoir mis en communication les bornes respectives des deux machines, on conçoit que l'une agit comme générateur produisant l'électricité et l'autre comme récepteur absorbant l'électricité produite par la première, et que la courroie qui commande la poulie n'a à fournir comme effort moteur que la différence entre la puissance dépensée et la puissance utilisée. Cette différence comprend les pertes par échauffement des fils des deux machines, des fils de liaison, les frottements mécaniques et les courants de Foucault. On voit que si les machines étaient rigoureusement identiques, comme elles ont la même vitesse, le courant serait nul, puisque l'on aurait des forces électromotrices égales et de signes contraires. Il suffira d'ailleurs pour avoir un courant d'affaiblir un peu l'excitation de la machine servant de moteur en intercalant une résistance dans le circuit des inducteurs.

La méthode de M. Hopkinson présente des avantages assez nombreux : la puissance transmise aux deux machines est relativement peu importante et peut par conséquent se mesurer avec plus d'exactitude et de facilité ; une erreur dans cette mesure dynamométrique, même un peu importante, n'influence pas sensiblement le résultat final ; enfin un moteur relativement faible permet de mesurer le rendement de machines très puissantes.

On a fait de nombreuses expériences par cette méthode sur des machines type Edison-Hopkinson construites par MM. Malher et Platt. Ces expériences ont démontré que le rendement industriel de ces machines atteignait 93 %, tant dans la génératrice que dans la réceptrice, et qu'une machine bien construite fonctionne aussi bien comme moteur que comme générateur. Elles renversent complètement l'opinion émise autrefois par MM. Ayrton et Perry que les moteurs doivent être construits tout autrement que les générateurs. MM. Ayrton et Perry avaient posé comme règle que l'inducteur devait être d'un poids au plus moitié de celui de l'induit ; ce qui les avait conduits à employer un induit fixe et un inducteur mobile ; mais le rendement d'un moteur ainsi construit ne dépassait pas 40 %, tandis que dans les machines Edison-Hopkinson dont le rendement atteint, ainsi que nous l'avons dit, jusqu'à 93 %, les inducteurs sont 7 à 8 fois plus lourds que l'induit.

M. Gisbert Kapp a présenté une objection à la méthode de mesure du rendement industriel décrite ci-dessus : la tension de la courroie sur la poulie commune aux dynamos à mesurer est en général 10 à 11 fois plus faible que si ces dynamos fonctionnaient séparément ; il en résulte que la puissance absorbée par les frottements des arbres sur leurs coussinets sera dans ce dernier cas plus grande. C'est ce dont M. Gisbert Kapp a cherché à tenir compte, et il a calculé que le rendement industriel ne serait que de 91 % pour la génératrice et de 88 % pour la réceptrice dans le cas des machines Edison-Hopkinson. Ces différences sont peu considérables, et on peut dire qu'en pratique la méthode mérite d'être appliquée comme donnant des résultats très suffisamment approchés.

Méthode de M. Ravenshaw. — La méthode imaginée par M. Ravenshaw pour mesurer le rendement industriel des dynamos permet de se passer de l'emploi des dynamomètres de transmission qui est nécessaire dans la méthode précédente. C'est une simplification, attendu que ces instruments ne sont pas parfaits. Ici on n'a à faire que des mesures électriques, plus faciles, plus simples et plus exactes que les mesures mécaniques.

Voici un extrait d'une communication faite à ce sujet, en 1887, par M. le professeur J.-A. Fleming :

« Considérons trois dynamos A, B, C, dont l'une A est une machine moderne dont on veut connaître le rendement, et B et C des machines plus anciennes, mais qui ont toutes deux sensiblement le même rendement. On fait trois expériences distinctes. Dans chacune d'elles on choisit une paire de machines que l'on réunit mécaniquement et électriquement, comme dans la méthode d'Hopkinson ; la troisième est insérée dans le circuit des deux autres et fournit la puissance supplémentaire nécessaire à la mise en mouvement des deux premières.

« Coupons, par exemple, A et B mécaniquement, de sorte qu'en fournissant du courant à la dynamo B, elle tourne comme moteur électrique et actionne A comme dynamo. Le courant produit par A traverse B, et la puissance électrique supplémentaire nécessaire est fournie par la machine C, ac-

tionnée séparément et mise en circuit avec A et B.

« Mesurons le courant allant de A vers B, ainsi que les différences de potentiel aux bornes de A et de B. Le rapport de la puissance électrique fournie et disponible aux bornes de B à la puissance électrique disponible aux bornes de A peut être considéré comme le rendement résultant des deux machines accouplées A et B. Appelons r_1 et r_2 les rendements propres des deux machines A et B ; R, le rendement résultant de la paire de machines (A, B) ; ϵ_1 et ϵ_2 , les différences de potentiel aux bornes des machines A et B ; I, l'intensité du courant traversant les trois machines.

« Dans la première expérience on a les relations

$$\frac{\epsilon_1 I_1}{\epsilon_1 I_1} = R_1 = r_1 r_2$$

« Par une disposition symétrique, en appelant R, le rendement résultant de B et de C et R', le rendement résultant de C et de A, on a de même

$$\frac{\epsilon_2 I_2}{\epsilon_2 I_2} = R_2 = r_2 r_1$$

$$\frac{\epsilon_3 I_3}{\epsilon_3 I_3} = R_3 = r_1 r_2$$

d'où l'on tire

$$r_1 = \sqrt{\frac{R_2 R_3}{R_1}}$$

On obtient des formules analogues pour les rendements individuels de r_2 et de r_3 .

« On voit ainsi que l'on peut déduire des trois rendements résultants le rendement industriel de chaque dynamo, sans effectuer d'autres mesures que des mesures électriques. »

M. Hospitalier, qui a publié cette communication de M. Fleming dans *l'Electricien* (octobre 1887), dit : « La méthode de M. Ravenshaw est particulièrement intéressante pour les écoles techniques qui ne possèdent pas, en général, un moteur bien puissant, mais qui pourront cependant effectuer des mesures de rendement sur les plus puissantes machines à courant continu. »

6^e Détermination de la caractéristique d'une machine dynamo-électrique.

On appelle CARACTÉRISTIQUE d'une dynamo les courbes construites en portant en abscisses les intensités et en ordonnées les forces électromotrices obtenues lorsqu'on donne à la machine une vitesse constante et lorsqu'on fait varier la résistance du circuit.

Pour mesurer cette caractéristique il faut distinguer deux cas.

1^o Si on a une machine SÉRIE-DYNAMO, on note, à chaque variation de la résistance, l'intensité accusée par un AMPÈRÈMÈTRE, et on calcule la force électromotrice par la formule

$$E = H + RI,$$

H étant la différence de potentiel aux bornes de la machine et R sa résistance.

2^o Si on a une machine SHUNT-DYNAMO, on excite séparément les inducteurs par un courant d'intensité constante et on procède aux mêmes mesures que ci-dessus. Dans ce dernier cas R représente la résistance de l'anneau et non, comme précédemment, la résistance totale de la machine.

M. Cabanellas a fait remarquer que toutes les fois que le CHAMP MAGNÉTIQUE est modifié par le CHAMP LÉCTRIQUE de l'anneau, la courbe est faussée. On est parvenu à éviter cette modification par la machine elle-même, parce que dans ce cas on est obligé de changer le calage normal des balais, ce qui n'arrive pas ou ce qui du moins n'est pas indispensable lorsque le champ magnétique est très énergique.

III. — MESURE DES MACHINES A LUMIÈRE ET DES APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

Nous empruntons à un article de M. Dumont, ingénieur des Télégraphes de l'Etat belge, la description

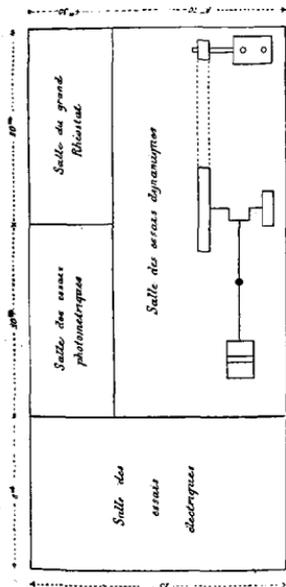


Fig. 20. — Plan de la salle des Essais électriques.

des méthodes suivies à l'Exposition universelle d'Anvers (1885) pour les essais électriques des machines dynamo-électriques et des appareils d'éclairage de diverses natures alimentés par ces machines.

Les épreuves des machines et des lampes se faisaient à l'Exposition dans quatre salles adjacentes, disposés comme le montre la fig. 20.

La fig. 21 indique comment se faisaient les liaisons des appareils qui servaient aux essais des machines dynamo D; savoir :

- I, I inverseurs permettant de faire les lectures aux galvanomètres dans les deux sens ;
- R ampèremètre de MM. Deprez et D'Arsonval ;
- R' voltmètre de — — — — —
- A pont de Thomson pour la mesure de la résistance à la conductibilité des circuits des machines dynamos ;

MESURES ÉLECTRIQUES

D petite pile destinée aux essais du pont de Thomson ;
S grand shunt (dérivation) ;

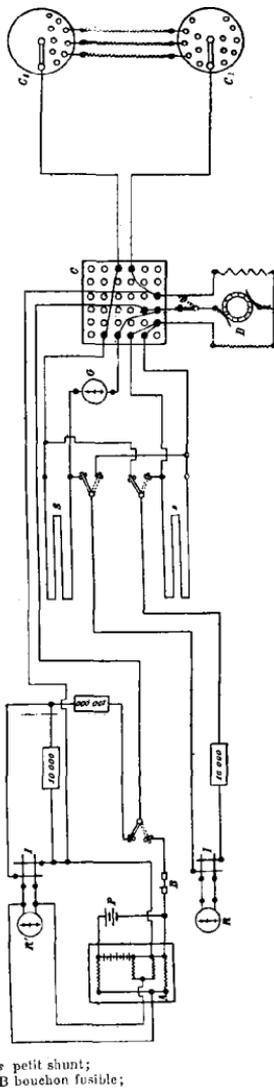


Fig. 21, indiquant comment se faisaient les liaisons des appareils servant aux essais des machines.

s petit shunt ;
B bouchon fusible ;

C, et C', commutateurs à godets de mercure communiquant avec les différentes divisions du grand rhéostat à spires en fil de fer ;
C commutateur à godets de mercure, servant à établir les communications avec les appareils de mesure ;

G petit ampèremètre industriel.

La mesure de la force absorbée par les machines dynamos était effectuée avec le dynamomètre Siemens (Hefner-Allenck), qui était intercalé dans les brins de la courroie transmettant la force du moteur à vapeur à la poulie du générateur de courant.

Les épreuves photométriques, exécutées avec les appareils combinés par M. le Dr Hugo Kruss, furent divisées en deux sections : l'une comprenant les es-

saies des lampes à arc et l'autre ceux des lampes à incandescence.

Sur deux échelles doubles graduées E, et E', (fig. 22) se mouvaient deux photomètres B, et B', de Bunsen, à papier avec tache d'huile. A l'une des extrémités, en G, brûlait un bec intensif à gaz de Siemens, d'une puissance lumineuse de 7 à 8 carcelles ; à l'autre extrémité, en A, était placée la lampe électrique à arc à photomètre, et en C, la lampe Carcel étalon.

Un observateur, installé au photomètre B, prenait une série ou deux de cinq observations de comparaison entre le régulateur électrique et le bec Siemens. Aux mêmes intervalles de temps, un second opérateur, en B', faisait le même nombre d'observations entre la lampe Carcel C et le bec Siemens G.

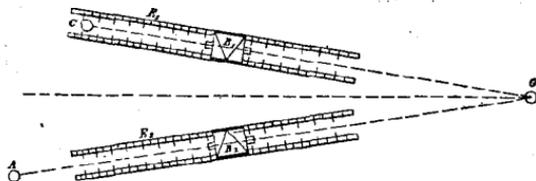


Fig. 22.

Au moyen des résultats obtenus, l'intensité du foyer électrique pouvait être aisément convertie en becs Carcel. L'intensité ainsi calculée était l'intensité horizontale. Pour obtenir les intensités lumineuses sous les différents angles, on se servait de l'appareil imaginé par M. Rousseau, professeur à l'université de

Bruxelles. Les différentes valeurs trouvées ainsi permettaient de construire la courbe des intensités et de déduire, par conséquent, l'équation du foyer.

Pour la photométrie des lampes à incandescence la méthode adoptée était la suivante :
L'intensité d'une lampe type était prise suivant

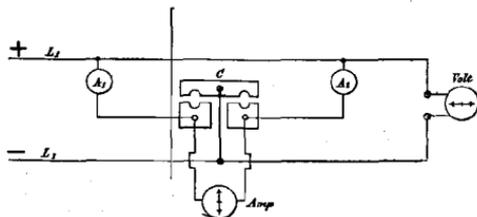


Fig. 23.

l'horizontale et dans le plan du filament du charbon en la comparant avec le bec carcel étalon. Cette lampe à incandescence, dans la position indiquée ci-dessus, servait à la comparaison avec les autres lampes de la même construction. Ces dernières, de constantes électriques identiques à celle qui servait de type, étaient photométrées dans les différents méridiens et dans les différentes inclinaisons du méridien de 10 en 10°.

Les connexions électriques pour ces mesures sont représentées fig. 23.

L₁ et L₂ sont les lignes venant de la source d'électricité ;

C est un commutateur à deux voies ;

A, et A', sont les deux lampes à incandescence à comparer. Comme pour les lampes à arc, cette méthode permettait de calculer la courbe et l'équation des intensités lumineuses des lampes à incandescence.

Mesures photométriques de lampes à incandescence faites en 1885, par le *Franklin Institute*, à l'Exposition internationale d'Electricité de Philadelphie.

Ces mesures ont été entreprises dans le but de connaître en bougies l'intensité lumineuse moyenne.

Les mesures photométriques étaient prises en différents points, déterminés par leur latitude et leur longitude. Voici comment on opérait :

On a fait 65 mesures pour chaque lampe. La lampe était placée verticalement et le plan des attaches du charbon formait un angle droit avec la barre du photomètre ; le côté le plus rapproché de celle-ci était gradué pour servir de repère. Le sommet et le fond de la lampe étaient supposés représenter respectivement les pôles nord et sud, et le cercle vertical for-

nant un angle droit avec le plan des attaches du harbon, représentait le premier méridien. On faisait tourner horizontalement la lampe en prenant 13 mesures à l'équateur de 30° en 30°. La moyenne de ces mesures indiquait l'intensité horizontale moyenne.

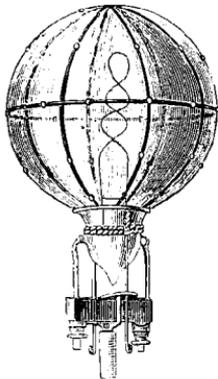


Fig. 24.

Lampe à incandescence, système Maller, garnie de cercles représentant l'équateur et les quatre méridiens.

On recommençait l'opération à la première position; on faisait alors tourner la lampe dans le plan du premier méridien, en prenant 13 mesures à des intervalles égaux de 30° et 4 mesures au point 0° la-

titude et 0° longitude. La moyenne de ces mesures était appelée *la lecture étalon*.

La lampe était déplacée de 45° horizontalement de manière à occuper la position de 0° latitude et 45° longitude est par rapport au photomètre. On la

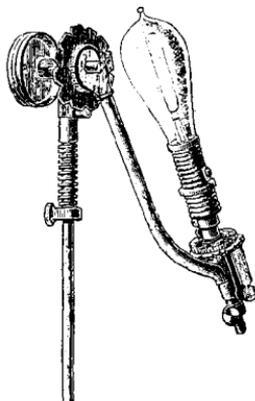


Fig. 25. — Support permettant de placer la lampe à incandescence dans diverses positions.

faisait tourner dans le plan vertical passant par ce point en prenant 13 mesures à des intervalles de 30°. La lampe était déplacée encore de 45° horizonta-

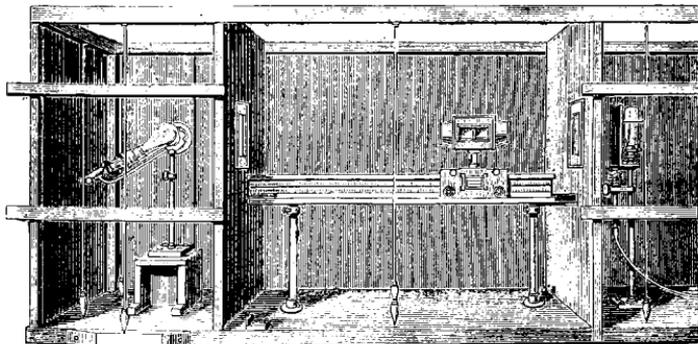


Fig. 26. — Photomètre étalon de Ledebur-Bunsen.

lement, de manière à occuper une position de 0° latitude et de 90° longitude est par rapport au photomètre, et on prend 13 mesures dans ce méridien.

Enfin la lampe était placée à 0° latitude et 135° longitude est; on prend 12 mesures de 30° en 30° dans ce méridien.

Ce qui faisait bien au total 65 mesures combinées sur 38 points pour chaque lampe.

En marquant les points sur un globe on voit qu'ils sont à peu près équidistants, mais un peu plus rapprochés à l'équateur qu'aux pôles.

La moyenne du pouvoir éclairant des 38 points dont l'emplacement est marqué *fig. 24* était considérée comme l'intensité sphérique moyenne de la puissance lumineuse.

(La *fig. 24* représente une lampe à incandescence,

système Muller, de forme presque sphérique, autour de laquelle on a tendu 4 bandes en caoutchouc pour représenter les 4 cercles méridiens, tandis qu'une cinquième bande représente l'équateur.)

Pour pouvoir faire exécuter aux lampes essayées les mouvements décrits plus haut, on les fixait sur un support représenté fig. 25, permettant de faire tourner la lampe autour de deux axes à angle droit.

Enfin, la fig. 26 représente le photomètre étalon de Lelheby-Bunsen avec une barre de 1^m50 dont on s'est servi pour les essais sur le rendement. Une tache circulaire d'huile sur un morceau de papier paraffiné était réfléchi par deux réflecteurs dans la boîte du disque. En égalisant l'éclairage des deux taches, on déplaçait toujours le disque vers la lampe électrique à gauche, ce qui favorisait la lumière électrique en cas de doute.

Dans ces opérations photométriques on se servait de la forte étalon de deux bougies de Methven, qui s'aperçoit sur la fig. 26, à droite.

Lorsque la lampe à essayer était placée sur son support, le potentiel était maintenu constant au moyen de résistances intercalées dans le circuit de la lampe. C'est alors qu'on mesurait le pouvoir éclairant, l'intensité et la différence de potentiel.

Mesure de la force contre-électromotrice de l'arc voltaïque.

Voici une méthode imaginée par M. V. von Lang : Si on considère une pile d'un nombre pair d'éléments dont le circuit est fermé par une résistance, il y a sur cette résistance un point B qui est au même

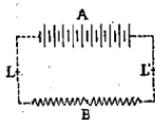


Fig. 27.

potentiel que le milieu A de la pile (fig. 27). On peut donc mesurer la résistance des deux portions du circuit par les méthodes ordinaires, par exemple en reliant les points A et B aux bornes d'attache de la 4^e branche d'un pont de WHEATSTONE.

Si entre A et B se trouvent deux lampes électri-

ques identiques L et L', ce qui ne change pas l'égalité des potentiels de ces deux points, on pourra mesurer la résistance réelle r de chacune des deux lampes.

M. von Lang mesure en ampères l'intensité I du courant qui traverse le circuit fermé par la pile et les deux lampes; il les supprime ensuite et les remplace par deux résistances égales qu'il modifie jusqu'à ce que le courant reprenne sa première valeur I. Soit r' la valeur d'une de ces résistances et r celle d'une lampe; la force contre-ÉLECTROMOTRICE e de l'arc sera (I - r) × I, c'est-à-dire le produit de l'intensité par la différence entre la résistance r' et la résistance r.

M. von Lang a trouvé, en procédant de cette manière, dans une lampe entretenue par 58 couples Bunsen une force contre-électromotrice de l'arc de 39 volts, ce qui se rapproche sensiblement des résultats trouvés par divers expérimentateurs et entre autres par M. Edlund.

IX. — MESURES DES CABLES SOUS-MARINS.

Pendant toute leur existence les CABLES sous-marins sont soumis à des épreuves diverses et continues. Ces épreuves sont faites suivant des méthodes dues à Thomson, Varley, Willoughby, Smith, Clarke, Sabine, etc.

Nous donnons ci-dessous quelques détails sur les

méthodes les plus employées pour les mesures des CAPACITÉS ÉLECTRO-STATIQUES et des RÉSISTANCES des câbles et des JOINTS.

1^o Mesure des capacités électro-statiques.

(a) La méthode la plus simple est de comparer les décharges des câbles avec celle d'un condensateur de capacité connue après avoir chargé ceux-ci avec la même pile que le condensateur. Les capacités sont entre elles comme le rapport des déviations obtenues au galvanomètre balistique et l'on a la relation suivante

$$\frac{F}{\alpha} = \frac{F_1}{\alpha_1} = \frac{F_2}{\alpha_2}$$

dans laquelle on désigne par F la capacité du condensateur étalon, par α la déviation donnée par sa décharge, par F₁, F₂ les capacités cherchées et par α_1 , α_2 les déviations obtenues.

(b) Méthode des shunts. — C'est une modification de la méthode précédente. On shunte le galvanomètre de façon à obtenir une même déviation lorsqu'on décharge le câble ou le condensateur. Soit S, S₁, S₂ les shunts, G la résistance du galvanomètre; on a

$$\alpha = \frac{G+S}{S}, \quad \alpha_1 = \frac{G+S_1}{S_1}, \quad \alpha_2 = \frac{G+S_2}{S_2}$$

ou en remplaçant α , α_1 , α_2 par leurs valeurs proportionnelles

$$\frac{F}{\frac{G+S}{S}} = \frac{F_1}{\frac{G+S_1}{S_1}} = \frac{F_2}{\frac{G+S_2}{S_2}}$$

(c) Méthode de Siemens par la perte de charge. — Le principe de cette méthode consiste à déterminer la vitesse avec laquelle un condensateur ou un câble chargé dont on veut connaître la capacité se décharge à travers une résistance connue; la capacité se calcule à l'aide d'une formule que nous allons établir.

Soit un condensateur ayant une capacité de F FARADS chargé au potentiel de V volts; la quantité d'électricité Q en COULOMBS qu'il contiendra sera : Q = VF.

Supposons maintenant qu'il se décharge pendant une seconde à travers une résistance de R OHMS.

Si on considère un intervalle de temps t très petit, on peut supposer que le flux d'électricité s'écoule d'une manière uniforme pendant ce temps t. (Cela n'est pas rigoureusement exact, puisque l'intensité du courant de décharge va en diminuant d'une manière continue; mais plus le temps t sera petit, plus les mesures obtenues se rapprocheront d'une valeur exacte.)

La quantité d'électricité q s'écoule pendant la décharge d'un condensateur est proportionnelle au potentiel de la charge et au temps de l'écoulement de celle-ci, et inversement proportionnelle à la résistance qu'elle traverse. On peut donc représenter cette quantité q par la formule

$$q = K \frac{Vt}{R}$$

(K étant une constante à déterminer.)

Or, par définition, un condensateur d'une capacité

de 1 farad et chargé au potentiel de 1 volt, c'est-à-dire contenant 1 coulomb d'électricité, se décharge en une seconde à travers une résistance de 1 ohm. Donc en faisant dans la formule précédente $q=1$, $V=1$, $t=1$ et $R=1$, on a $K=1$.

La quantité d'électricité qui s'écoule dans le temps t est donc représentée par $\frac{Vt}{R}$ et la quantité qui reste dans le condensateur au bout de temps t sera

$$Q - \frac{Vt}{R} = Q - \frac{VFt}{FR} = Q \left(1 - \frac{t}{FR} \right).$$

Ainsi, pour déduire de la charge primitive du condensateur, au commencement de la première période de temps t , la quantité d'électricité contenue à la fin de cet intervalle, c'est-à-dire au commencement du second intervalle, il faut multiplier cette charge primitive par le facteur $\left(1 - \frac{t}{FR} \right)$.

A la fin du deuxième intervalle t , la quantité restante sera

$$\left[Q \left(1 - \frac{t}{FR} \right) \right] \left(1 - \frac{t}{FR} \right) = Q \left(1 - \frac{t}{FR} \right)^2,$$

et à la fin du $n^{\text{ème}}$ intervalle

$$q = Q \left(1 - \frac{t}{FR} \right)^n.$$

Supposons maintenant que la somme de ces n intervalles soit égale à T on aura

$$(1) \quad q = Q \left(1 - \frac{T}{nFR} \right)^n.$$

Comme nous l'avons dit plus haut, plus le temps t est petit, plus les mesures sont exactes; si on prend t infiniment petit, ce qui revient à prendre n infiniment grand, mais de manière que le produit nt soit constant et égal à T , la valeur exacte de la quantité restante dans le condensateur à la fin du temps T sera donnée par la formule (1), on a $n = \infty$.

Pour évaluer q , posons

$$\frac{T}{nFR} = \frac{1}{x}.$$

ce qui donne $x = \infty$ pour $n = \infty$.

On en tire

$$n = -\frac{Tx}{FR}.$$

et, en substituant dans la formule (1), on a la relation

$$q = Q \left[\left(1 + \frac{1}{x} \right)^{-x} \right]^{-\frac{T}{FR}}.$$

dans laquelle $x = \infty$.

Mais l'expression placée entre parenthèses a pour valeur la base e des logarithmes népériens, il vient donc :

$$\frac{q}{Q} = e^{-\frac{T}{FR}}.$$

On en déduit, en prenant les logarithmes népériens des deux membres,

$$\frac{T}{FR} = \log_e \frac{Q}{q};$$

d'où

$$F = \frac{T}{R \log_e \frac{Q}{q}}.$$

D'autre part, en désignant par v le potentiel correspondant à q , on a

$$\frac{Q}{q} = \frac{VF}{vF} = \frac{V}{v}.$$

La formule précédente peut donc s'écrire

$$(2) \quad F = \frac{T}{R \log_e \frac{V}{v}} = \frac{T}{2.303 R \log \frac{V}{v}}.$$

le facteur 2,303 étant le rapport constant entre les logarithmes népériens et les logarithmes vulgaires.

Comme on l'a déjà dit plus haut, le temps T est exprimé en secondes, F en farads et R en ohms.

Les potentiels V et v entrent dans cette formule par leur rapport; l'unité qu'on adoptera pour les mesurer est donc indifférente, bien qu'on les ait supposés évalués en volts.

Dans la pratique, R se compte en mégohms et F en microfarads. (Kempe)

(d) **Méthode de Thomson.** — Cette méthode est une des plus exactes, que les câbles à mesurer soient longs ou courts. Voici sur quel principe elle est basée.

Supposons deux condensateurs également chargés, mais de potentiels de signes contraires; si on vient à les réunir, les deux charges se neutralisent, et si on les fait communiquer avec un galvanomètre aucune déviation ne se produit, puisqu'il ne subsiste sur chacun d'eux aucun résidu de charge. Supposons maintenant que l'une des deux charges soit plus forte que l'autre; dans ce cas la plus faible est annulée par l'autre et celui des deux condensateurs qui possédait la plus grande conserve une charge résiduelle égale à leur différence. Si on fait alors communiquer les deux condensateurs réunis avec le galvanomètre, l'aiguille de celui-ci déviara à droite ou à gauche suivant le signe positif ou négatif de la charge résiduelle.

Si la capacité d'un des condensateurs est connue et si l'on règle les potentiels de telle sorte qu'aucun résidu ne subsiste après leur réunion, on pourra calculer la capacité de l'autre condensateur. En effet, si on désigne par Q_1 et Q_2 les charges des deux condensateurs, par F_1 et F_2 leurs capacités respectives, et par V_1 et V_2 les potentiels des deux charges, on aura identiquement

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{V_1 F_1}{V_2 F_2}.$$

Si $Q_1 = Q_2$, on doit avoir $V_1 F_1 = V_2 F_2$ et par conséquent

$$F_1 = \frac{V_2}{V_1} F_2.$$

La fig. 28 montre comment on dispose l'expérience pour régler à volonté les potentiels V_1 et V_2 , et donne en même temps la disposition des circuits pour mesurer la capacité d'un câble.

Les deux pôles de la pile sont réunis ensemble par deux résistances R_1 et R_2 qui sont mises en communication avec la terre. Aux points de jonction de la pile et des résistances, c'est-à-dire aux points M et N , les potentiels satisfont à la relation

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

mais nous avons vu que

$$F_1 = \frac{V_2}{V_1} F_2;$$

on a donc

$$F_1 = \frac{R_1}{R_2} F_2.$$

Pour procéder à cet essai, on règle R_1 et R_2 de telle sorte que ces résistances soient, autant que possible, dans le rapport F_1 à F_2 ; on abaisse K_1 et K_2 , en pou-

sant le bouton K , on charge ainsi le condensateur et le câble; puis on relève K_1 et K_2 , ils viennent alors toucher les contacts supérieurs. Comme ils sont reliés

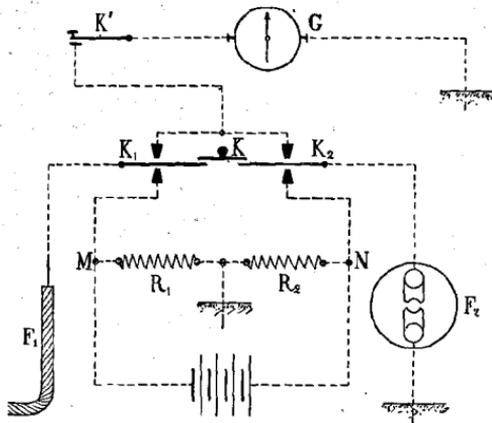


Fig. 28. — Méthode de Thomson.

ensemble, le câble et le condensateur se trouvent réunis, et si on abaisse le manipulateur K' , tout résidu

de charge qui a pu résister s'écoule à la terre à travers le galvanomètre G en le faisant dévier. On règle peu

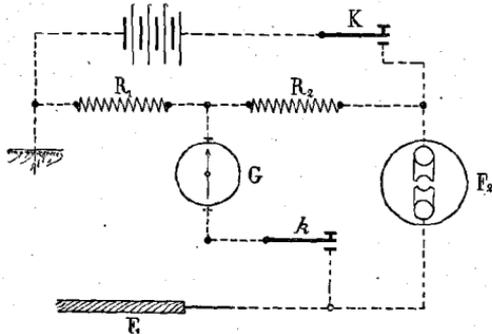


Fig. 29. — Méthode de Gott.

à peu les résistances R_1 et R_2 , jusqu'à ce que nulle déviation ne se produise, on est alors sûr que les résistances sont réglées exactement et il suffit d'appliquer la formule citée plus haut.

(e) Méthode de Gott. — Le schéma (fig. 29) indique comment on dispose les appareils. On abaisse d'abord le manipulateur K et on le maintient abaissé; le condensateur et le câble se chargent en cascade puis on règle les résistances R_1 et R_2 de telle sorte qu'on manœuvrant le manipulateur A on n'obtienne aucune

déviation du galvanomètre G . Lorsque l'équilibre est établi, on a la relation suivante

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

d'où

$$F_1 = \frac{R_1}{R_2} F_2$$

Cette méthode est, avec la précédente, une des plus exactes.

2° Mesure des résistances.

(a) Mesure des grandes résistances. — La méthode du pont de Wheatstone permet de mesurer des résistances jusqu'à 1 mégohm et même avec certaines

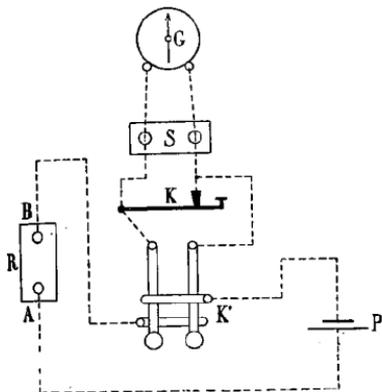


Fig. 30.

voltes à pont jusqu'à 16 mégohms; mais dans les mesures des câbles on a souvent affaire à des résistances plus grandes, aussi on emploie généralement la méthode dite de la déviation.

Voici comment on dispose l'expérience (Fig. 30) : on met en circuit un élément de la pile P, un galvanomètre G muni d'un shunt S variable et d'un manipulateur le court circuit K, un manipulateur K l'inversion, et en AB une résistance R de 10.000 ohms. On fait passer le courant et l'on règle le shunt S de manière à obtenir une déviation convenable, c'est-à-dire dans les limites de l'échelle du galvanomètre.

Soit D cette déviation; le produit de D par le pouvoir multiplicateur de la shunt représentera la valeur de la déviation qu'on aurait obtenue à travers une résistance de 10.000 ohms sans shunt. En réalité il y a dans le circuit, outre la résistance R, la résistance de l'élément et la résistance combinée du galvanomètre et de son shunt, mais ces résistances sont négligeables; on peut du reste les ajouter dans le calcul à la résistance de 10.000 ohms. Si dans l'expérience précédente on avait employé une pile de 100 éléments identiques au premier, la déviation aurait été 100 fois plus grande; donc en multipliant la valeur $(D \times \frac{G+S}{S})$ par 100 on obtient la déviation que produiraient les 100 éléments appliqués une résistance de 100.000 ohms; si enfin on multiplie ce produit par 10.000, le résultat représentera la déviation correspondant à 100 éléments appliqués une résistance de 1 ohm. C'est ce qu'on appelle généralement la **CONSTANTE**.

On aura donc

$$\text{constante} = D \times \frac{G+S}{S} \times 100 \times 10.000.$$

Après avoir mesuré la constante comme ci-dessus, on remplace la pile unique par les 100 éléments et l'on met la résistance à mesurer en AB à la place de R. On règle alors le shunt jusqu'à ce que l'on obtienne une déviation égale ou sensiblement égale à la première; soit D' cette déviation, soit S' la résistance du shunt, la déviation sans lui aurait été $D' \times \frac{G+S_1}{S_1}$. Si nous divisons la constante par cette valeur, nous aurons la résistance cherchée x,

$$x = \frac{D \times \frac{G+S}{S} \times 100 \times 10000}{D' \times \frac{G+S_1}{S_1}}$$

En pratique on calcule la constante au moyen des tables de logarithmes.

(b) Mesure de la résistance d'isolement d'un câble. — Pour mesurer la résistance d'isolement d'un câble on calcule d'abord la constante comme précédemment; puis on dispose l'expérience comme le montre la Fig. 31. On met en circuit le galvanomètre G et son shunt S, le manipulateur de court circuit K, le manipulateur inverseur K', le commutateur de pile C, la pile P et le câble.

En se servant d'un manipulateur inverseur sur le galvanomètre et d'un commutateur de pile, on n'est pas obligé d'intervenir les fils du galvanomètre quand on change le sens du courant, on opère plus vite, et de plus on peut obtenir les dévia-

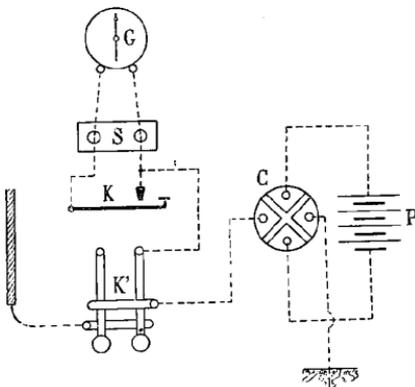


Fig. 31. — Résistance d'isolement d'un câble

tions (toujours d'un même côté, ce qui est avantageux pour se servir de la longueur entière de l'échelle du galvanomètre).

Les extrémités du câble doivent être dénudées avec beaucoup de soin; l'une d'elles est mise en communication avec la clef d'inversion et l'autre est suspendue librement en l'air après avoir été recouverte d'une couche de paraffine fondue.

On met en place les chevilles du commutateur de pile et l'on maintient abaissé le levier de la clef d'inversion qui applique le pôle zinc au câble; on abaisse ensuite le manipulateur de court circuit et on règle le shunt de manière à obtenir une déviation d'environ 300 divisions.

Une minute après que le manipulateur inverseur a été manœuvré, on note la déviation exacte. On s'aperçoit que la déviation n'est pas fixe; elle diminue pendant toute la durée du courant, d'abord rapidement, puis lentement jusqu'à devenir presque stationnaire; l'action prolongée du courant semble augmenter la résistance du diélectrique. On désigne ce phénomène sous le nom d'ÉLECTRISATION; il paraît dû à une sorte de polarisation du diélectrique.

Nous donnons ci-dessous à titre d'exemple les déviations décroissantes obtenues sur un même bout de câble.

DURÉE de l'électrisation en minutes.	AMPLITUDE de la déviation.	DURÉE de l'électrisation en minutes.	AMPLITUDE de la déviation.
1/2	344	15	223
1	304	20	216
2	280	25	212
3	264	30	208
4	256	35	204
5	252	40	202
10	236	50	200

L'accroissement de résistance, résultant de l'électrisation, est toujours plus fort à une basse température; ainsi on a constaté en opérant sur un même câble qu'à la température de 0° centigrade la déviation diminuait de 240 à 75 divisions en 90 minutes,

tandis qu'à la température de 21° centigrades elle descendait seulement de 240 à 173 divisions dans la même période.

Du reste, la vitesse avec laquelle la résistance augmente dépend de la nature de l'isolant. Elle est plus grande avec le caoutchouc qu'avec la gutta-percha. Quand le câble essayé est en parfait état, l'électrisation se produit d'une manière régulière; autrement dit, la tache lumineuse doit se rapprocher d'une manière continue du zéro sur l'échelle du galvanomètre.

(c) Mesure des résistances par les potentiels. — On peut opérer de deux façons :

1° On observe la chute de potentiel le long d'une résistance connue à laquelle on relie la résistance inconnue;

2° On observe la vitesse avec laquelle un condensateur d'une capacité connue perd son potentiel en se déchargeant à travers la résistance inconnue.

1° Méthode de la chute de potentiel. — Si on relie une pile P (fig. 32) à une résistance R + x, le potentiel de la pile décroît régulièrement le long de cette résistance en passant de sa valeur maximum en a à zéro au point c communiquant avec la terre. (Ce point est au potentiel 0 par définition.) Il en serait encore de même si on réunissait les points c et d entre eux au lieu de les mettre à la terre. Désignons par V le potentiel en a et par v le potentiel en b, et représentons graphiquement leur valeur par les lignes verticales V et v. Nous avons deux triangles semblables, et on en déduit

$$\frac{V}{v} = \frac{R+x}{x};$$

d'où

$$x = R \frac{v}{V-v}.$$

Si R est une résistance connue, on obtiendra la valeur de x en mesurant les valeurs de V et v ou même simplement leurs valeurs relatives, puisque ces poten-

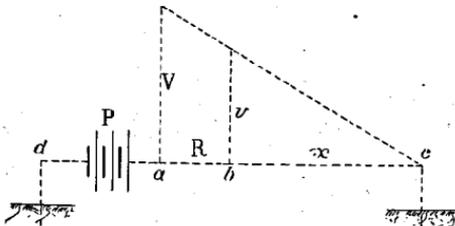


Fig. 32. — Mesure des résistances par les potentiels.

tiels n'entrent que par leur rapport dans la formule précédente.

On mesure ces potentiels par l'une des méthodes indiquées page 528.

2° Méthode de la perte de potentiel. — Reprenons la formule de la méthode de Siemens pour la mesure des capacités électro-statiques par la perte de charge (page 538)

$$F = \frac{T}{2,303 R \log \frac{V}{v}}$$

dans laquelle F représente la capacité, T le temps

et R la résistance. Si nous prenons R pour inconnue, nous aurons

$$R = \frac{T}{2,303 F \log \frac{V}{v}}$$

et on pourra déterminer une résistance en mesurant une capacité et une perte de potentiel. Pour faire cet essai les communications devront être établies exactement comme pour déterminer les capacités électro-statiques par la perte de charge.

Si l'on veut essayer par cette méthode un câble de petite longueur, on obtiendra d'excellents résultats,

le rapport de la déviation de décharge du câble et celle du condensateur étalon, chargés tous deux avec une même pile, donne la valeur de la capacité ; s'avec des câbles de grande longueur les résultats seraient peu exacts, et dans ce cas il est préférable de mesurer les capacités par la méthode de unson, par exemple.

Quand on mesure la résistance d'isolement d'un câble par le procédé indiqué ci-dessus, le résultat obtenu est la moyenne des résistances d'isolement de ce câble au commencement et à la fin l'expérience ; car l'électrisation persiste pendant la durée de l'écoulement de la charge.

3° Essai des joints.

Dans un câble, les joints sont les points faibles et il est très important non seulement de les faire avec soin, mais encore de les essayer.

Chaque joint, n'étant qu'un bout de câble de petite longueur, présente ou du moins doit présenter une résistance très élevée ; il en résulte que la méthode de déviation directe, comme celle qui sert à mesurer les résistances d'isolement et que nous avons décrite précédemment, est à peu près impossible à appliquer ; effet, même avec une pile énergique la déviation galvanométrique est trop petite pour être observée.

Il existe trois méthodes principales pour l'essai des joints :

1° On charge un condensateur par l'intermédiaire du joint pendant un temps déterminé, puis on mesure la décharge de ce condensateur ; cette décharge représente la quantité d'électricité qui s'est dissipée à travers le joint. On appelle cette méthode : *Accumulation de Clark*.

2° On laisse un condensateur chargé à un potentiel connu se décharger à travers le joint pendant un certain temps, et l'on mesure alors sa perte de charge. C'est la méthode dite de la *décharge*.

3° On met le joint dans une cuve pleine d'eau et on l'isole, un électromètre est relié à l'eau de la cuve. On charge le bout de câble où se trouve le joint avec une pile de 200 éléments et l'on observe pendant un temps déterminé l'augmentation de la déviation de l'électromètre. C'est la méthode dite de *lectromètre*.

Cette dernière méthode est la plus exacte des trois, mais elle n'est pas toujours applicable. D'ailleurs, dans aucun de ces méthodes on compare toujours les déviations obtenues avec le joint essayé à celles qu'on obtient avec un bout de câble de même nature bon état, c'est-à-dire sans joint.

4° Défauts.

En cas de rupture du câble, lorsque le conducteur est en contact avec la terre, il est facile de localiser la place, c'est-à-dire de calculer la distance à laquelle se trouve cette rupture.

La résistance du conducteur se trouve réduite, en effet, dans une proportion qui, exprimée en fonction de la résistance connue du câble par mille, donne en miles la distance de la faute.

Si l'on s'est produit dans le diélectrique du câble une surcharge, un trou, ou si le contact avec la terre est intermittent, les courants alternativement positifs et négatifs qui circulent dans le câble ont pour effet d'oxyder et de désoxyder le cuivre. L'oxydation vient augmenter dans une proportion variable et inconnue la résistance propre du câble, ce qui vient fausser les indications données par le galvanomètre. Au contact l'eau de mer le conducteur métallique forme une

véritable pile, dite *pile de câble*, qui développe dans le câble un courant positif, dit *courant de câble*, dont l'existence est révélée par le galvanomètre d'épreuve. Pour localiser le dérangement il faut aggraver la faute. On emploie alors la méthode de Lumsden, qui consiste :

1° À appliquer sur le câble un courant positif intense et prolongé sous l'influence duquel le conducteur se recouvre d'une couche de chlorure. Il en résulte une polarisation qui, après enlèvement du courant de la pile d'épreuve, détermine la déviation du galvanomètre dans un sens.

2° À appliquer une succession de courants négatifs de courte durée, qui réduisent chaque fois une portion du chlorure formé. Pendant ce temps on suit sur le galvanomètre la diminution de la déviation première successivement réduite par cette polarisation contraire, en même temps qu'on note sur un pont de Wheatstone l'affaiblissement progressif de la résistance.

On continue la même opération jusqu'au moment où le chlorure, ayant complètement disparu, fait place à un dégagement exclusif d'hydrogène. A ce moment la polarisation change brusquement de signe, ainsi que la déviation du galvanomètre. C'est cet instant très court, pendant lequel les actions opposées de l'hydrogène et du chlorure se balançant en apparence la pile du câble devient inerte et le conducteur est dépolarisé, qu'il faut saisir pour prendre les indications du pont de Wheatstone (la résistance apparente et la résistance réelle étant alors identiques).

Comme les résistances de conductibilité et d'isolement varient avec la température, les épreuves doivent toujours être faites ou rapportées à une température étalon adoptée une fois pour toutes. En télégraphie sous-marine, on a choisi la température de 24° centigrades parce que c'est la plus élevée à laquelle on puisse porter la gutta-percha sans la ramollir et parce qu'elle est suffisamment défavorable à sa résistance d'isolement.

Ces variations de résistance permettent même de déterminer, au moyen d'un câble en bon état dont les constantes sont bien connues, la température du fond de la mer.

Nous renvoyons pour plus de détails aux ouvrages spéciaux, notamment à celui de M. W. Hoskier, intitulé : *Epreuves électriques des câbles télégraphiques*, et à celui de H. R. Kempe, intitulé : *Traité des mesures électriques*; ce dernier a été traduit en français par H. Berger, directeur-ingénieur des Télégraphes de l'État.

MESURE.—(Méd.) Des trois grandes méthodes de l'électrophotographie la GALVANISATION seule, du moins jusqu'à présent, emploie les UNITÉS ÉLECTRIQUES pour le dosage de ses courants. Dans la galvanisation proprement dite on compte habituellement par milliampères ; c'est de cette façon que sont divisés les GALVANOMÈTRES de la plupart des appareils médicaux. Suivant les indications de M. R. Vigouroux, c'est à une graduation grossière ; elle ne permet pas de nuancer suffisamment les applications, notamment celles de la tête et des organes des sens, et empêche d'apprécier des phénomènes intéressants, tels que la POLARISATION DES ÉLECTRODES. Cet auteur a adopté et recommande la division en dix-millièmes d'ampère. Il a aussi montré récemment qu'il ne suffit pas de s'en tenir, comme on le fait, à la mesure de l'INTENSITÉ du courant. LES RÉISTANCES que rencontre le courant étant très variables suivant les cas, la même intensité peut être produite par des FORCES ÉLECTROMOTRICES différentes. On doit donc, pour se rendre réellement compte des conditions dans

lesquelles on opère, connaître dans chaque cas non seulement l'intensité, mais la force électromotrice ou la résistance; l'un de ces deux termes servant à déterminer l'autre s'il est utile. Conformément à ces vues, le Dr R. Vigouroux a fait établir sa TABLE D'ÉLECTROTHERAPIE de telle façon que, sans autre instrument que le galvanomètre, on a à tout instant la valeur de l'intensité et celle de la force électromotrice aux pôles de la pile et aux électrodes.

MESUREUR D'ÉNERGIE ou Voltampèremètre.
— (V. COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ.)

MÉTALLISATION. — Opération qui a pour but de préparer les corps non métalliques à recevoir une couche de métal par les procédés de la GALVANOPLASTIE.

La métallisation, une des opérations les plus importantes de la galvanoplastie, a pour objet de rendre conductrices, presque à l'égal d'un métal, les pièces qui ne le sont pas par nature, soit qu'on veuille les revêtir d'une enveloppe métallique, soit qu'on se propose seulement d'en contre-trier une épreuve.

Le corps métallisant qui se prête le mieux aux différentes manipulations galvanoplastiques est la plombagine, dont les particules, d'une onctuosité suffisante et d'une ténacité extrême, s'appliquent avec un grand succès sur les formes les plus délicates et les plus mouvementées, sans amener l'engorgement des détails ni la déformation du modèle.

Au début de la galvanoplastie, plusieurs expérimentateurs ont préconisé l'emploi de poudres métalliques, ou l'application sur les originaux dont la reproduction était demandée de feuilles d'or ou d'argent. L'expérience a fait justice de ces procédés, qui exigeaient l'emploi de vernis pour faire adhérer les poudres ou feuilles et présentaient de graves inconvénients. On s'est donc à peu près unanimement rallié à l'emploi de la plombagine, à laquelle, du reste, on a donné des qualités nouvelles en la mélangeant, par voie chimique, à des sels d'or ou d'argent.

Toutes les natures de corps ne se prêtent pas directement à l'emploi de la plombagine; tels sont les corps trop poreux ou trop friables, ceux dont les surfaces ne sont ni adhésives ni adipeuses. Les moules résineux exigent une préparation particulière et préalable pour l'application du graphite. Les corps résineux doivent être légèrement humectés d'esprit-de-vin ou d'éther sulfurique, et l'opérateur doit profiter habituellement de la modification momentanée des surfaces pour les métalliser. Les corps poreux ou friables sont soumis à une imperméabilisation, et, en les exposant à une douce chaleur, ils se plient ensuite à toutes les nécessités du travail de métallisation.

Il est bon, toutefois, d'opérer rapidement, avec une grande légèreté de touche, et d'employer une brosse un peu rude; c'est le moyen le meilleur pour déterminer l'adhérence de la plombagine.

Ce travail ne saurait être l'objet de trop d'attention de la part de l'artiste galvanoplaste. La moindre négligence rendrait l'opération infructueuse; car, si la couche métallisante n'est pas parfaitement égale, le dépôt métallique ne saurait être régulier.

La métallisation par la plombagine est parfaite lorsque toutes les parties métallisées présentent un reflet noir et brillant. Il ne doit rester sur l'objet type que la poudre qui adhère fortement; ce serait une erreur funeste de croire que celle qui fait fleur peut être utile; dans le bain elle se détacherait immédiatement des places qu'elle recouvre et déterminerait une solution de continuité dont le résultat serait un trou dans l'épreuve.

La métallisation des produits céramiques n'est parfaite que par l'emploi des procédés de dorure, argenture et platinage, s'il s'agit de recouvrir avec adhérence tout ou partie de la pièce modèle; si, au contraire, on ne veut en obtenir qu'une reproduction en creux, on se trouvera bien de soumettre au contact de l'acide fluorhydrique gazeux ou liquide les parties à reproduire, et ensuite de les traiter à la plombagine. On peut agir de même avec les pierres précieuses et obtenir ainsi de très beaux résultats.

On a quelquefois recouru à la plombagine pour recouvrir certaines pièces métalliques dont on veut obtenir le creux; dans ce cas, la plombagine, tout en n'interrompant pas l'action galvanique, protège le modèle contre les attaques du bain et facilite la séparation de la reproduction, sans occasionner d'arrachement ni de froissement préjudiciables à l'original.

Il était naturel, après avoir obtenu des résultats satisfaisants sur des corps faciles à métalliser, de penser à étendre les procédés d'enveloppes métalliques aux objets les plus délicats, tels que plumes d'oiseau, dentelles, insectes, fleurs, etc. La voie sèche étant impraticable, on eut recours à la voie humide, et, en 1843, on adopta le procédé suivant. Avec un pinceau très doux ou une brosse très fine qu'on trempe dans une solution d'azotate d'argent, on mouille l'objet à métalliser, on le met sécher et on recommence l'opération jusqu'à ce que toutes les parties du modèle soient également recouvertes du sel métallique. On fixe alors l'objet à métalliser au couvercle d'une boîte assez haute et fermant hermétiquement, puis on introduit au fond de cette même boîte une capsule en verre ou en porcelaine contenant une quantité quelconque de phosphore dissous à saturation dans du sulfure de carbone; on ferme, à loisir agir quelques heures, et l'objet soumis à l'évaporation étant devenu entièrement noir par suite de la réduction de l'argent au contact de l'acide phosphorique formé par évaporation de la solution de phosphore, on l'attache à un fil conducteur et on le soumet au bain galvanique.

On peut remplacer la solution de phosphore par un courant de gaz hydrogène, soit pur, soit sulfuré, phosphoré ou arsénié.

Les rayons solaires amènent aussi la réduction de l'argent si on laissait l'objet assez longtemps exposé à leur action.

La solution d'azotate d'argent varie selon que l'on opère sur des objets différents. Elle est composée de 1/20 de sel dans l'eau distillée, si on traite du bois, de l'os, du plâtre, etc.; elle est à saturation dans l'ammoniaque, si ce sont des matières grasses ou très résineuses; enfin on dissout l'azotate dans l'esprit-de-vin, si le travail est des plus délicats, et, dans ce cas, on plonge plutôt les pièces dans la solution d'argent qu'on ne les mouille au pinceau.

Ce procédé de métallisation a permis d'exécuter des travaux de toute beauté et dignes en tout point de figurer avec honneur aux expositions d'industrie; on a obtenu de véritables tours de force: un cocon de ver à soie, ainsi préparé et doré, a été entièrement dévidé; des dentelles, des mouselines, des fruits à grappes, des fleurs délicates, telles que le jasmin, le lilas, des aïds d'oiseau, etc., ont pu être ainsi métallisés, dorés ou argentés. Il semblait qu'il y avait là une mine féconde à exploiter; cependant tous ces résultats n'ont pas, jusqu'à ce jour, franchi le seuil des laboratoires d'atelier; rien de commercial, rien de régulier n'a été obtenu, et la métallisation pratique et sûre des objets très délicats est encore à trouver.

En terminant, indiquons le procédé suivant employé avec succès par certains praticiens pour métalliser les fleurs et les insectes:

On traite d'abord les objets par un liquide albumineux facile à préparer, en lavant dans l'eau pure des olivagons et des limaces pour les débarrasser de toutes les matières terreuses et calcaires, et les plaçant ensuite dans un vase rempli d'eau distillée assez longtemps pour qu'ils abandonnent leur matière albumineuse. Le liquide ainsi chargé d'albumine est filtré et porté à l'ébullition pendant une heure. On ajoute, après refroidissement, assez d'eau distillée pour remplacer l'eau perdue par l'ébullition et on y joint environ 3 % de nitrate d'argent. Le liquide est mis dans des bouteilles hermétiquement bouchées et tenues dans l'obscurité.

Pour employer cette préparation sur les objets, on en prend 30 grammes environ et on les dissout dans 160 grammes d'eau distillée. On y plonge les objets pendant quelques instants, avant de les porter dans un bain formé d'eau distillée avec 20 % de nitrate d'argent. On réduit par le gaz hydrogène sulfuré le nitrate adhérent à la pellicule albumineuse. Les objets sont alors prêts à recevoir un dépôt électrolytique, qui est bien supérieur par la finesse du grain et la netteté des empreintes à tous ceux qu'on obtient ordinairement.

MÉTALLOCHROMIE — Art d'utiliser dans l'industrie les effets de coloration des ANNEAUX DE NOBILIT.

MÉTALLOSCOPIE, MÉTALLOTHÉRAPIE. — Noms donnés par le Dr Burq aux phénomènes découverts par lui et résultant de l'action de contact des métaux sur l'organisme. Burq avait trouvé qu'en plaçant une petite plaque de métal sur la peau de certains malades on produisait chez eux des modifications évidentes de la sensibilité, de la circulation, etc.; en un mot des phénomènes nerveux d'abord localisés au voisinage immédiat de la plaque. Par exemple, la peau devenait en quelques minutes, et dans le rayon de quelques centimètres, tout à fait insensible aux excitations douloureuses, piqûres, brûlures, etc.; en même temps la température locale s'abaissait et la force musculaire du membre diminuait. Ou bien si ces diverses conditions existaient déjà par le fait de la maladie, car les observations se faisaient sur des hystériques, la même plaque de métal rétablissait l'état normal. Chose singulière, restée jusqu'à présent sans explication satisfaisante, pour que ces effets se manifestent il faut que la plaque soit d'un métal déterminé qui varie suivant les malades. Pour les uns c'est l'or, pour d'autres le fer ou le zinc, etc., et le choix ne peut être fait que par l'expérience.

Burq appelait **métalloscopie** l'exploration de l'état nerveux du malade au moyen d'applications métalliques, et **métallothérapie** la répétition dans un but curatif de l'application trouvée efficace et aussi l'administration à l'intérieur des métaux qui avaient agi extérieurement. Ses premières observations datent de 1848. En 1876, la Société de Biologie délègue pour vérifier les assertions de Burq une commission composée des Drs Charcot, Luys et Dumontpallier. Cette commission, qui fonctionna pendant plusieurs mois à la Salpêtrière, s'adjoignit plusieurs spécialistes, entre autres les Drs Regnard, Gellé et R. Vigouroux. Le résultat de ces travaux fut non seulement la confirmation des faits annoncés par Burq, mais aussi leur extension par la découverte de phénomènes importants, tels que le *transfer*, c'est-à-dire le retentissement d'une action locale sur les portions symétriques de l'autre moitié du corps (Gellé). L'influence réciproque des applications simultanées (Vigouroux), etc., tous faits intéressants pour la biologie, mais qui ne relèvent pas directement de l'électricité.

Au point de vue électrique, on a cherché à expliquer par une action de cet ordre les effets physiologiques des plaques de métal. Celles-ci donneraient lieu à des COURANTS (Regnard) ou à une action de contact, le légment et le métal se comportant comme les deux métaux de l'expérience de Volta. M. R. Vigouroux, qui avait proposé cette dernière hypothèse, a fait de nombreuses expériences sur la question; il a notamment constaté, au moyen de l'ÉLECTROSCOPPE de Lippmann, que le même métal, l'or ou l'étain par exemple, est positif ou négatif au contact d'un malade et négatif avec un autre. En définitive, pourtant, il est d'avis que les explications électriques sont insuffisantes. Suivant cet auteur, les phénomènes singuliers provoqués par l'application des métaux et plus généralement par les *esthésiogènes* (dont nous allons dire quelques mots) appartiennent à deux catégories: la première en rapport immédiat avec l'agent physique qui la détermine et variant avec lui, la seconde n'en dépendant que par l'intermédiaire d'une de ces actions psychiques encore indéterminées et que l'on commence à étudier sous les noms de *suggestion*, *d'action à distance*, etc. Or le passage de l'une à l'autre de ces catégories se fait par une transmission insensible, et c'est là la principale difficulté de ces études. M. Charcot a introduit dans la science le nom d'*esthésiogènes* pour désigner, au point de vue de cette action spéciale, tous les agents physiques capables de produire, et généralement d'une façon plus apparente, les effets attribués par Burq aux métaux, et appelés d'abord *métalloscopiques*. Dans ce groupe des esthésiogènes doivent entrer: le CALANXISSE (Bourneville), l'ALBAUX (Charcot et Vigouroux), l'ÉLECTRICITÉ STRATON (Vigouroux), les vibrations mécaniques (Vigouroux), le collodion (Vigouroux), certains bois (Dunard-Beaumez et Jourdanis), etc. En présence des esthésiogènes, l'application des métaux a perdu tout intérêt pratique; elle reste néanmoins comme un problème intéressant de physique et de physiologie. Dans la métallothérapie proprement dite, il y a aussi quelques vues à conserver. Ainsi Burq prétendait, non sans raison, que l'efficacité thérapeutique des métaux, si abondamment employés à l'intérieur, est en rapport avec les effets produits par leur application sur la peau. Si l'œuvre de Burq ne subsiste pas en elle-même, elle n'en a pas moins provoqué l'introduction ou la réintégration dans la pratique médicale de méthodes utiles. En outre, c'est comme suite aux esthésiogènes et comme conséquence éloignée de la métallothérapie que furent entreprises à la Salpêtrière les premières recherches cliniques sur l'HYPERNOSIS, sujet qui si rapidement atteint le degré de vulgarisation et, disons le mot, de vulgarité que l'on sait.

MÉTALLOTHÉRAPIE. — Traitement médical consistant dans l'application des métaux sur la peau de certains malades, et l'administration à l'intérieur des métaux qui ont agi extérieurement. Méthode curative imaginée par le Dr Burq. (V. MÉTALLOSCOPIE.)

MÉTALLURGIE ÉLECTRIQUE. — Procédé de fusion par l'électricité, imaginé par M. William Siemens. (V. ÉLECTRO-MÉTALLURGIE.)

MÉTÉOROGRAFIE. — Appareil enregistrant les indications de plusieurs autres instruments météorologiques. (V. ENREGISTREURS MÉTÉOROLOGIQUES.)

MÉTÉOROLOGIE TÉLÉGRAPHIQUE. — (V. TÉLÉGRAPHIE [Application de la].)

MÉTANOMÈTRE automatique, ou Analyseur automatique du griseu. — Instrument qui analyse à

grande distance, automatiquement et quantitativement, l'hydrogène et ses carbures. Le méthanomètre, imaginé par M. Monnier, professeur de chimie à l'université de Genève, comprend deux organes : l'analyseur et le récepteur. (V. *Lumière électrique*, t. V, année 1881, p. 101.)

MÈTRE-AMPÈRE. — Si l'on désigne par e l'effort qu'exerce normalement aux bornes de force un conducteur de 1 mètre de longueur traversé par un ampère dans un champ magnétique, l'effort total exercé par un conducteur de longueur L et parcouru par un courant d'intensité I , sans que l'intensité du champ magnétique soit modifiée, sera eLI . Le produit $L I$ a été appelé mètres-ampères.

La considération des mètres-ampères dans l'étude des machines dynamos peut remplacer des données électriques par des données mécaniques, souvent plus familières, et rendre plus simples les calculs des dimensions de ces machines. (*Jacques.*)

Meyer (M.-B.), mort à Malzéville, près Nancy, en août 1881. — Electricien distingué, connu surtout par l'invention du télégraphe multiple qui porte son nom. (V. *TÉLÉGRAPHIE.*)

MHO (anagramme de *ohm*). — Néologisme proposé par M. William Thomson, pour désigner l'inverse de l'ohm, c'est-à-dire l'unité de conductibilité.

Jusqu'ici ce mot ne paraît pas devoir passer dans l'usage courant.

MICRO-ÉLECTROMÈTRE. — Instrument qui sert à faire reconnaître de faibles quantités d'électricité.

MICROFARAD. — Unité électrique de capacité, égal à un millionième de FARAD.

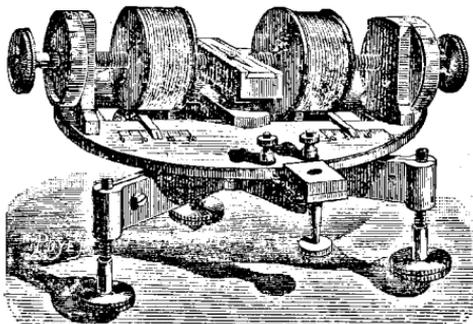
MICRO-GALVANIQUE. — Se dit d'un appareil propre à faire apprécier les moindres effets galvaniques.

MICROHM. — Unité de mesure de résistance électrique, valant un millionième d'ohm.

MICROHMÈTRE. — Appareil imaginé par M. L. Maiche pour mesurer de faibles résistances. Il est basé sur le principe suivant : « Étant donnée une aiguille aimantée, posée librement sur son pivot, si on dispose de chaque côté deux hélices, parcourues en sens inverse l'une de l'autre par le courant d'une pile, qui peut être composée d'un seul couple, la



Aiguille du Microhmètre.



Microhmètre de M. Maiche.

résistance de chacune des hélices étant égale, l'aiguille reste immobile. Si on ajoute à la bobine placée à gauche de l'aiguille une résistance inconnue, l'aiguille sera déviée suivant le sens du courant, et pour la ramener au zéro il faudra introduire dans le circuit de la bobine de droite une résistance graduée équivalente à celle de la première hélice ou, ce qui revient au même, il faudra déplacer cette bobine de façon à s'éloigner de l'aiguille. Ce déplacement équivalra à la résistance cherchée.»

Les hélices mobiles sont montées sur des vis micrométriques dont chaque tour correspond à un déplacement de 0,001. Une roue divisée en 100 degrés, solidaire de la vis, tourne avec elle devant un vernier dont le zéro sert de point de repère.

Cet instrument est très sensible; avec un seul couple Daniell, le déplacement de 1/4 de degré est nettement accusé. La valeur du déplacement des hélices est calculée d'après une résistance étalon et réglée pour que chaque degré corresponde à 1/1000 d'ohm. Un 1/2 degré donne le 1/2000 d'ohm.

L'instrument est construit par M. Carpentier.

MICROPHONE (du grec *mikros*, petit, et *phônè*, son).

— Instrument servant à recueillir les vibrations sonores et à les transmettre au moyen de l'électricité.

Le premier microphone a été construit par Hughes, et il est basé sur les variations de résistance électrique qui se produisent au contact de corps médiocrement conducteurs. Ainsi lorsqu'un morceau de charbon (corps médiocrement conducteur) est mis en contact avec un autre morceau de charbon ou avec un conducteur, le moindre déplacement produisant des variations de position imperceptibles suffit pour faire changer la résistance dans des proportions très notables.

Le microphone de Hughes se compose d'un petit crayon de charbon de corne C terminé en pointe à chacune de ses extrémités et légèrement soutenu dans une position verticale entre deux godets creusés dans deux blocs D et D' de la même substance fixés sur une table mince d'harmonie P (fig. 1).

Si on relie les deux blocs aux extrémités B et B' d'un circuit métallique dans lequel sont intercalés une pile Leclanché d'un ou deux couples et un TÉLÉPHONE T,

on perçoit dans ce dernier instrument les bruits considérablement amplifiés qui se produisent près du microphone. Ainsi les pas d'une mouche marchant sur le support de l'appareil s'entendent parfaitement dans le téléphone et donnent la sensation du pincement d'un cheval; le frottement d'une larve de plume ou d'une étoffe sur la planchette du microphone, bruits complètement imperceptibles à l'audition directe, s'entendent d'une manière marquée dans le téléphone; il en est de même des battements d'une montre posée sur la table d'harmonie, etc. Enfin les trépidations

causées par le passage d'une voiture dans la rue se traduisent par des bruits crépitants très intenses.

L'amplification des sons par le microphone n'existe réellement que quand ces sons résultent de vibrations transmises mécaniquement à l'appareil par des corps solides.

Le microphone de Hughes a permis d'améliorer les conditions de la transmission de la parole à distance, ainsi qu'on le verra plus loin; aussi de nombreuses réclamations de priorité se sont-elles produites dès que cette application a été réalisée. Il est prouvé aujourd'hui

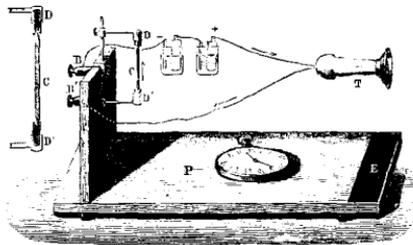


Fig. 1. — Microphone de Hughes, (Dacrest.)

d'hui que si quelques effets du microphone ont été découverts à différentes époques avant M. Hughes, on n'y avait prêté qu'une médiocre attention puisque la plupart n'ont même pas été publiés.

Le microphone de Hughes a reçu plusieurs modifications: M. Galilei lui a donné une forme plus élégante en le construisant comme un appareil de physique. Les blocs de charbon sont soutenus par des porte-charbons métalliques dont on peut faire varier

avec deux électrodes représentées par deux fragments de charbon allongés.

On peut même remplacer les fragments de charbon par des poussières de même matière et même par des

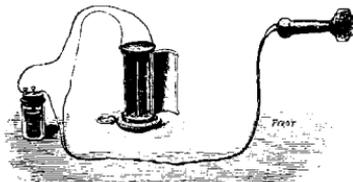


Fig. 2. — Microphone de Hughes, (Touret.)

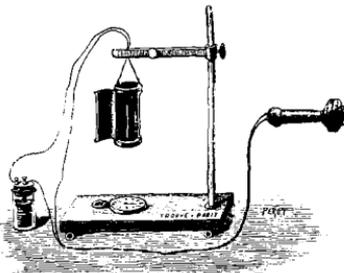


Fig. 3. — Microphone de Hughes, (Touret.)

la position. Il est donc facile d'incliner plus ou moins le crayon mobile et d'augmenter à volonté la pression qu'il exerce sur le charbon supérieur. On reconnaît ainsi que lorsque le crayon est vertical le microphone transmet difficilement les sons articulés, en raison de l'instabilité du point de contact, et que des bruissements de toute nature se font entendre (on dit qu'il se produit des *crachements*). Quand au contraire le crayon de charbon est trop incliné, les sons perçus dans le téléphone sont plus purs, plus nets, mais par contre l'appareil est moins sensible.

Le microphone peut aussi être constitué par des fragments de charbon entassés dans une boîte entre deux électrodes métalliques, ou enfermés dans un tube

poussières plus ou moins conductrices, par exemple, des limailles métalliques. Tels sont les microphones à poussière de charbon et à limaille qui sont employés dans certains transmetteurs microtéléphoniques. (V. télégraphie.)

On a varié de mille manières la forme du microphone, suivant les applications auxquelles on voulait l'adapter.

Ainsi, nous citerons, entre autres :

1° Le microphone de M. Vary, qui se compose d'une boîte sonore en spin, montée verticalement sur un pied et sur les deux côtés de laquelle sont disposés deux microphones à charbons verticaux réunis en tension. Un petit diaphragme à chlorure d'argent, sans

liquide (de Galle), est adapté dans le pied de l'appareil et suffit pour le faire fonctionner. Ce système est extrêmement sensible.

2° Le microphone de M. Trouvé, qui est extrêmement simple, par suite fort peu coûteux et on même temps très sensible. Il se compose d'une boîte cylindrique verticale dont les deux bases sont munies de disques de charbon que réunit une tige de même substance ou un tube métallique terminé par deux pointes de charbon (fig. 2 et 3). [V. page 547.]

Cette tige ou ce tube pivote librement dans deux trous pratiqués dans les charbons, et la boîte, agissant comme une caisse sonore, permet en même temps de servir de cage aux insectes dont on veut étudier les mouvements et les bruits. La boîte peut être suspendue à une potence par les deux fils de communication (fig. 3) pour les rendre complètement isolés. Dans ces conditions on entend à peine le bruit de la montre placée sur la planchette du support, ainsi que les bruits de frottement ou de chocs extérieurs; mais les vibrations sonores de l'air, seules transmises, acquièrent alors une grande netteté.

3° Le microphone de M. Lippens, qui consiste en une boîte mince analogue à celle de M. Varoy, sur les faces opposées de laquelle sont adaptées, dans deux encadrements évidés à cet effet, deux lames peu épaisses de caoutchouc durci, au centre desquelles sont collés, en dedans de la boîte, deux charbons creusés en forme de demi-sphère. Entre ces deux charbons, éloignés de 2 millimètres environ, est introduite une sphère de charbon soutenue par un ressort à boudin, qu'il est possible de tendre plus ou moins, de façon à faire varier la pression de la boule contre les parois sphériques qui la contiennent. On peut ainsi rendre l'appareil plus ou moins sensible. On remarquera aussi que, grâce à la disposition décrite ci-dessus, les courants d'air n'ont pas d'action sur le microphone, ce dernier étant impressionné directement par les vibrations des lames de caoutchouc.

Théorie du microphone. — La théorie du microphone est complexe :

« On doit reconnaître dans toutes les formes du microphone, dit M. J. Ochorowicz, un mouvement mécanique des parties constitutives, une variation dans les points de conductibilité, un changement de résistance. Mais de ces trois actions c'est le changement des points de contact qui joue le rôle principal. Du nombre plus ou moins grand de ces points dépend l'intensité des sons : le nombre des interruptions successives des mêmes contacts détermine leur hauteur, et les changements accessoires leur timbre; enfin des diverses combinaisons successives et simultanées, périodiques ou non périodiques, de tous ces changements, résulte leur articulation. »

APPLICATIONS DU MICROPHONE.

Les applications du microphone sont déjà fort nombreuses et se multiplient tous les jours. Nous allons indiquer les plus importantes :

I. — APPLICATION A LA TÉLÉPHONIE.

Nous avons dit plus haut que tous les bruits produits à côté du microphone étaient entendus dans le téléphone intercalé dans le circuit comprenant la pile, le microphone et le téléphone (fig. 1), et que ces bruits étaient considérablement amplifiés. Il en est de même de la parole. Il était donc naturel d'utiliser ce précieux instrument pour améliorer les conditions de la transmission par téléphones.

On intercale souvent aussi dans le circuit une

BOBINE D'INDUCTION. Dans ce cas le microphone devant lequel on parle est relié d'une part au pôle d'une pile, d'autre part avec le fil inducteur de la bobine d'induction; l'autre extrémité du fil inducteur aboutit au pôle resté libre de la pile. Enfin les deux extrémités du fil induit de la bobine sont attachées aux fils de ligne qui aboutissent au téléphone magnétique récepteur.

Edison imagina un transmetteur de ce genre, connu sous le nom de *téléphone à pile* ou de *micro-téléphone*, qui donne de bons résultats, mais dont le réglage est difficile; aussi n'a-t-il été abandonné en pratique et remplacé par des transmetteurs microphoniques ne nécessitant pas de réglage.

Nous décrivons seulement ici la disposition des principaux microphones employés comme transmetteurs, renvoyant au mot *téléphonie* pour tous les détails concernant leur mode de réunion avec les autres organes du poste transmetteur.

Les microphones employés comme transmetteurs téléphoniques peuvent être rangés en deux grandes classes : 1° les *microphones à charbons solides*; 2° les *microphones à matière granulée* et les *microphones à poussières*.

1^{re} Classe. — MICROPHONES A CHARBONS SOLIDES.

Les microphones de la première classe se subdivisent eux-mêmes en trois groupes ayant respectivement pour types le microphone Berliner, le microphone Blake et le microphone Crossley.

1^{er} GROUPE. — Microphones Berliner et dérivés.

Microphones Berliner. — Le microphone Berliner, très employé en Amérique et en Belgique, se compose d'une membrane vibrante *pp* derrière laquelle est fixée une pastille de charbon (fig. 4); devant cette pastille est placé un morceau de charbon de forme cylindrique ou sphérique *d* porté à l'extrémité d'un levier ou d'un ressort, et dont le contact avec la pastille est assuré par la gravité. *m* et *n* sont les fils qui relient l'appareil à la pile.

Quand on parle dans l'embouchure placée devant la membrane *pp*, cette membrane vibre, et ses oscillations déterminent entre la pastille et le morceau de charbon *d* des différences de pression.

Parmi les microphones dérivés de celui de Berliner, nous citerons les modèles suivants :

Le microphone Thomas et Kummer. — Il est composé d'une membrane verticale, munie dans son centre d'un bouton en charbon derrière lequel se trouvent deux ou trois cylindres en charbon suspendus à des pendules de différentes longueurs. Le contact entre ces pièces de charbon est établi par un ressort muni d'un petit bouton de plaine.

Le microphone Kalltofen. — Le charbon mobile est suspendu à un aimant en forme de tige auquel est opposée une vis en fer doux qui sort du centre du diaphragme et joue le rôle de l'armature de l'ai-

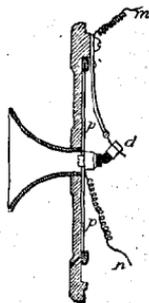


Fig. 4.
Microphone Berliner.

mant. Ce charbon se trouve ainsi pressé contre le charbon fixe.

Le microphone Maïche. — Ce microphone, qui est tout à fait semblable à celui de Deslinier, est appelé aussi **ELECTROPHONE**. Il est constitué par une série de membranes minces en liège supportant des pastilles de charbon contre lesquelles appuient des sphères de charbon suspendues à l'une des branches d'une équerre métallique dont l'autre branche est munie d'un contrepoids susceptible de réglage. On peut ainsi modifier à volonté la pression des sphères sur les pastilles correspondantes.

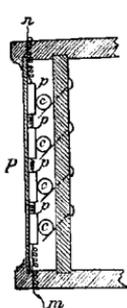


Fig. 5. Microphone Dejongh. (Coupe verticale.)

même temps supportés par des goupilles inclinées fixées sur une planchette épaisse parallèle à la mem-

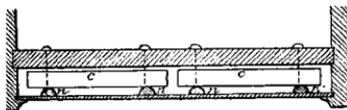


Fig. 6. — Microphone Dejongh. (Vue en plan.)

brane vibrante. Il y a seize cylindres de charbon et par suite trente-deux contacts.

2^e GROUPE. — Microphones Blake et dérivés.

Microphone Blake. — Le microphone Blake se compose d'une pastille de charbon fixée à l'extrémité d'un ressort vertical *p* et placée derrière une membrane *LL* qui vibre lorsqu'on parle devant elle dans l'embouchure *E* (fig. 7). Entre cette membrane et la pastille de charbon on interpose un grain de platine suspendu à un autre ressort vertical *p'* et qui a pour but d'établir un contact électrique permanent permettant au courant de la pile de circuler constamment. Sous l'influence des vibrations de la membrane *LL* la pastille se trouve plus ou moins comprimée et sa résistance est ainsi modifiée. *V* est une vis de réglage.

Le caractère distinctif du Blake est que le contact variable est établi entre platine et charbon au lieu de l'être entre deux charbons.

Malheureusement ce microphone présente un grave inconvénient : au bout d'un certain temps d'usage la pastille de charbon devenant rugueuse, le grain

de platine subit des ressauts qui produisent dans le TÉLÉPHONE récepteur des bruits anormaux, que l'on a appelés *crachements*. On parvient à les éviter dans les microphones à contacts multiples, comme ceux dérivant du Crossley, parce qu'en augmentant les contacts on diminue les chances d'interruption con-

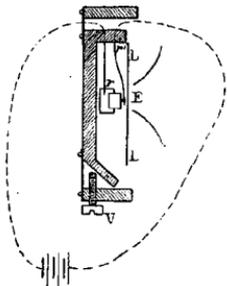


Fig. 7. — Microphone Blake.

plète du courant. On comprend, en effet, que ces chances d'interruption soient d'autant moindres que les contacts sont plus nombreux.

Parmi les microphones dérivant du Blake, nous mentionnerons :

Le microphone Fuller. — Le contact en platine fixé au milieu du diaphragme communique avec l'un des bras d'un levier dont l'autre bras est relié par un ressort que l'on peut régler avec la lame supportant la pastille de charbon. On augmente ainsi la variation du contact entre la platine et le charbon.

3^e GROUPE. — Microphones Crossley et dérivés.

Microphone Crossley. — Il se compose, comme le montre la fig. 8, de quatre cylindres de charbon

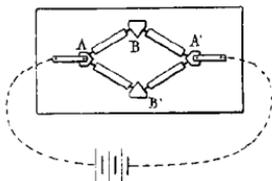


Fig. 8. — Microphone Crossley.

disposés en losange et dont les extrémités, taillées en tourillons, pénètrent dans des blocs de même matière *AA'* et *BB'*. Il y a ainsi huit contacts. Les quatre blocs sont fixés sous une planchette vibrante très peu inclinée et formant une sorte de pupitre. Lorsqu'on parle devant cette planchette, elle vibre et les cylindres de charbon subissent, par suite de leur inertie, une réaction qui modifie leur pression au point de contact. Le microphone Crossley, qui a été l'un des premiers microphones à contacts multiples, est maintenant très peu employé.

Microphone Ader. — Le microphone Ader n'est qu'une modification du microphone Crossley. Les baguettes de charbon, au nombre de dix sont disposées en rangées parallèles, comme le montre la

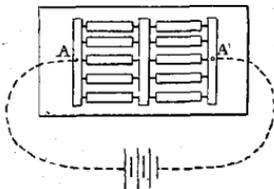


Fig. 9. — Microphone Ader.

fig. 9. Il a vingt contacts. Ce microphone est un des plus employés en France.

On a reconnu expérimentalement que la transmission des sons et de la parole se fait mieux lorsque la planchette vibrante est inclinée de 10 à 15° sur l'horizon.

Microphone Maïcha. — M. Maïcha a construit un microphone genre Crossley, composé d'une grille formée d'une grande quantité de petits cylindres de charbon d'environ 0^m,006 de diamètre et dont les extrémités reposent sur des règles de charbon fixées à la membrane vibrante. Ce qui différencie le microphone Maïcha du microphone Ader, c'est que les cylindres de charbon qui le composent ne sont pas munis de tourillons.

Microphone de MM. d'Arsonval et P. Bert. — Le microphone de MM. d'Arsonval et P. Bert se

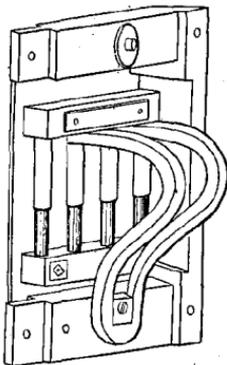


Fig. 10. — Microphone de MM. d'Arsonval et P. Bert.

distingue de celui de Hughes par le mode de réglage des contacts, permettant de faire varier la sensibilité de transmission.

Les crayons de charbon (fig. 10), au nombre de quatre, réunis deux en quantité et deux en tension, sont recouverts en partie d'une mince plaque de fer-blanc et sollicités par l'action magnétique d'un aimant en fer

à cheval, dont on règle la distance du charbon à l'aide d'une vis de rappel.

Quand l'aimant est assez éloigné, les charbons ont une grande mobilité sur leurs supports et les sons parviennent avec leur maximum d'intensité, mais l'articulation manque d'une netteté suffisante; quand l'aimant est rapproché, au contraire, les charbons appuient davantage sur leurs supports; l'intensité du son décroît, mais on gagne en netteté, et cela, dans des limites très étendues. Grâce à ce mode de réglage de la mobilité des charbons, la masse de ceux-ci n'intervient plus, et dès lors on peut les rendre aussi solides que l'on veut sans nuire au rendement du microphone; enfin le réglage se maintient dans toutes les positions que peut prendre le microphone, qui se trouve dès lors dans des conditions favorables pour résister aux chocs et aux trépidations; de là l'emploi de ces appareils dans les postes portatifs tels que les postes de campagne. La plaque vibrante est verticale. (V. TÉLÉPHONIE MILITAIRE.)

Microphone Dembinsky. — Il est en forme de pupitre, comme l'Ader, mais la plaque vibrante est remplacée par un tissu métallique permettant aux ondes sonores de pénétrer dans la boîte. Dans cette boîte se trouvent deux étages de charbons cylindriques croisés, assés sur des planches minces en bois de résonance.

Microphone Montanus. — Modification apportée au microphone Ader pour empêcher les crachements. Autour de la planchette vibrante en bois se trouve un espace communiquant avec l'intérieur de la boîte. Des goupilles placées sur les charbons, verticalement à leur axe, empêchent ceux-ci de tourner en vibrant.

Microphone Sasserath. — Composé de deux charbons cylindriques fixes séparés l'un de l'autre, mais en contact l'un avec le diaphragme, l'autre avec le fond métallique de la boîte. Un troisième cylindre de charbon est placé parallèlement aux deux premiers et en contact avec eux; il est supporté par une lame flexible avec bride élastique. Le diaphragme est isolé électriquement de la boîte; le courant amené à ce diaphragme passe donc par les trois cylindres en charbon avant d'arriver à la boîte métallique.

Microphone Colacicchi et Marini. — Composé de charbons disposés en étoile autour d'un bloc central et pivotant à la périphérie dans deux demi-cercles en charbon où aboutissent les conducteurs.

2^e Classe. — MICROPHONES EN MATIÈRES GRANULÉES ET MICROPHONES A POUSSIÈRES.

Les microphones à poussières comprennent des modèles très variés, mais ils reposent tous sur le même principe; ils se composent d'un récipient contenant une certaine dose de poussière ou de granules de substances semi-conductrices (charbon, limailles de fer ou de nickel, graphite mélangé de poudre d'argent, etc.). Ce récipient est mis en relation avec une membrane vibrante, et la poussière semi-conductrice est intercalée dans le circuit de la pile; cette poussière remplace donc, comme on le voit, une grille de charbon constituant le microphones proprement dit, et elle présente l'avantage de multiplier dans une très grande mesure le nombre des contacts, ce qui permet d'augmenter l'intensité du courant primaire en évitant les crachements.

Le type des microphones à poussières est celui de M. d'Argy.

Microphone d'Argy. — Ce microphone est fort simple; il n'est d'ailleurs qu'une modification de l'appareil de M. Bourseuil, qui était décrit en ses *ermes*, en 1881, par Du Moncel.

L'appareil de M. Bourseuil était une caisse sonore dans laquelle le système interrupteur, composé de deux crayons de charbon séparés par une couche de soufre de coke de 0^m,0005 d'épaisseur, était enroulé dans un manchon disposé verticalement et s'appuyant sur le fond de la boîte par l'intermédiaire d'une rondelle de liège.

Dans le microphone d'Argy, la mince couche de coke est remplacée par une certaine quantité de granules de coke, charbon de pile ou charbon de lumière, placée dans une petite boîte métallique de 0^m,005 à 0^m,004 d'épaisseur et dont les fonds reçoivent les deux crayons. Les fig. 11 et 12 représentent une boîte microphonique fermée et sa vue en coupe en grandeur naturelle. La construction en est fort simple; la boîte se compose, en effet, de deux parties

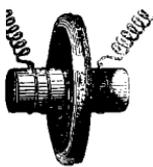


Fig. 11.



Fig. 12.

semblables réunies soit par une sertissure, soit par une petite soudure, après qu'on a eu soin d'y introduire les granules de coke, de charbon ou d'autres matières semi-conductrices, qui occupent environ les 2/3 de la hauteur de la boîte. Les charbons sont isolés par une mince couche de papier interposée entre leur surface et celle du culot de la boîte.

On conçoit que ce microphone est d'un prix de revient extrêmement réduit; aussi a-t-on pu l'appliquer à la construction de postes microtéléphoniques domestiques (v. TÉLÉPHONE). Le microphone lui-même ne revient pas à plus de 0 fr. 15.

Dans la catégorie des microphones à poussières nous citerons les suivants :

Microphones du Dr Hipp. — On parle devant une embouchure; les ondes sonores traversent d'abord une membrane en parchemin tendue dans l'embouchure transversalement à son axe, et viennent ensuite frapper une espèce de capsule cylindrique contenant une matière granulée de composition spéciale tenue secrète par l'inventeur. Cette matière fait contact avec deux feuilles de platine auxquelles sont soudés les fils qui conduisent à la pile et sur la ligne.

Microphones de la Société des Téléphones (Berthon). — Fondé sur le même principe que le précédent, mais plus simple, ce microphone se compose essentiellement de deux membranes parallèles espacées d'environ 0^m,005, entre lesquelles est fixé un petit anneau en caoutchouc durci. On a ainsi un cylindre très aplati, que l'on remplit de charbon granulé. Les surfaces intérieures des deux membranes sont rendues conductrices. Ce microphone se construit aussi en prenant pour membrane une plaque de mica sous laquelle s'en trouve une autre en platine d'un diamètre égal à celui de la cavité en caoutchouc durci, et reliée à l'un des pôles de la pile. Il s'adapte bien aux instruments mobiles dont on se sert dans les STATIONS CENTRALES ou postes centraux téléphoniques.

Microphone de M. Francis Blake. — Le charbon granulé est enfermé dans une boîte cylindrique dont le fond est constitué par la membrane contre laquelle on parle. Cette membrane est une mince feuille de charbon; derrière elle se trouve placée directement une deuxième membrane en feuille d'acier. Au milieu du charbon granulé est tendu un tissu métallique parallèlement à la membrane vibrante.

Microphone Hunnings. — Dans cet appareil, utilisé en Angleterre et aux Etats-Unis, les grains de charbon sont enfermés entre deux plaques de platine dont l'une est vibrante.

Microphone Berliner. — Il a la forme d'une capsule cylindrique en bois de 0^m,07 de diamètre et de 0^m,03 de hauteur. Un diaphragme placé horizontalement occupe le fond de cette capsule; ce diaphragme consiste en un charbon artificiel dur de 0^m,0083 d'épaisseur et de 0^m,05 de diamètre, percé au centre de quatorze à quinze petits trous; au-dessus est appliqué un bloc cylindrique en charbon dont la face placée en regard du diaphragme est creusée de trois rainures concentriques et profondes déterminant des arêtes circulaires aiguës; l'espace entre le cylindre et le diaphragme est rempli de graphite granulé. Un manteau de feutre enveloppe le cylindre et touche le diaphragme de façon à empêcher le graphite de sortir de l'espace qui lui est assigné. Enfin un petit tube de gomme de Para, pressant légèrement sur le centre du diaphragme, adoucit ses vibrations. Au fond de la capsule est fixé un tube de caoutchouc qui s'épanouit en forme d'entonnoir et dans lequel on parle.

Microphone Ocherowicz. — Dans ce microphone à matière granulée, la chaleur qui se développe pendant le passage du courant paraît jouer un certain rôle.

Les avantages des microphones à matières pulvérisées sont précieux dans bien des circonstances; ces appareils n'exigent aucun réglage; mais on a à craindre le tassement de la poudre; il faut alors secouer l'appareil. Certains peuvent parfaitement fonctionner sans bobines d'induction.

Moyens employés pour renforcer les effets du microphone.

On a cherché, pour renforcer les effets du microphone, à multiplier les variations du courant par l'emploi de bobines d'induction doubles, ou par d'autres actions doubles. Nous citerons, à titre d'exemples :

Le microphone de Freeman, analogue à celui de Blake et dans lequel la bobine d'induction se compose de trois couches différentes de spires.

Le microphone de Shaw, dans lequel les deux contacts sont fixés à une légère tige magnétique; la pression plus ou moins forte peut se régler au moyen de vis magnétiques s'approchant des pôles de la tige. Le diaphragme est remplacé par un bouchon de liège placé au fond de l'embouchure.

Le microphone de la Société générale des Téléphones à Paris. — Entre deux blocs de charbon, l'un fixé au diaphragme, l'autre placé en regard mais à une certaine distance du premier, quoique solidaire du diaphragme, descend un cône métallique suspendu et occupant une position indépendante de celle des charbons. Les charbons et le bloc sont en communication avec trois bobines différentes de la bobine d'induction. Il se forme ainsi deux circuits primaires

dans lesquels le courant de la pile traverse en sens inverse la bobine d'induction. Comme les variations sont diamétralement opposées dans les deux circuits primaires, lorsque le diaphragme reçoit un choc de droite à gauche ou de gauche à droite l'effet est doublé. Ce microphone est le *type Ader à grande distance*.

On a construit aussi des microphones sans diaphragme, mais cette modification a eu surtout pour but d'éliminer les brevets existants. Parmi les microphones de ce genre nous mentionnerons ceux de MM. Thompson et Jolin, de M. Drawbaugh, etc.

Il est utile de faire observer que le microphone est *réversible*, autrement dit, qu'il peut servir aussi de récepteur à la condition d'être d'une très grande sensibilité, ainsi que l'ont montré Du Moncel, M. Boudet de Paris, etc. (On trouvera le détail de ces expériences dans l'ouvrage de Du Moncel sur le *Microphone*.)

II. — APPLICATIONS COMME RELAIS TÉLÉPHONIQUES.

En 1878, le comte Du Moncel songea à se servir des microphones comme relais téléphoniques jouant à l'égard des transmissions téléphoniques le même rôle que le relais télégraphique à l'égard des transmissions télégraphiques. M. Hughes construisit un appareil de ce genre. Il plaçait sur une planche de bois deux microphones à charbon vertical, et il relierait un des microphones à un troisième servant de transmetteur alors que le second était mis en rapport avec un téléphone et une deuxième pile. On entendait dans le téléphone les paroles prononcées devant le microphone transmetteur sans que le relais téléphonique mit à contribution aucun organe électro-magnétique.

MM. Houston et Thomson combinèrent aussi un relais téléphonique ne différant de celui de M. Hughes qu'en ce que le microphone, au lieu d'être placé sur une planchette en bois à côté du téléphone, était fixé sur le diaphragme même du téléphone. L'appareil se composait de trois microphones verticaux que l'on pouvait associer en tension ou en qualité. Mais ce système de transmission a été abandonné.

III. — APPLICATIONS AUX ÉTUDES SCIENTIFIQUES.

Le microphone est d'un grand secours pour les études scientifiques.

Nous signalerons ici les principales de ces applications :

1° Nous renvoyons au mot *BALANCE*, où se trouve décrite la *balance d'induction voltaïque* de Hughes, qui utilise le microphone.

2° Le microphone a été employé, à cause de sa très grande sensibilité, pour la mesure des résistances par la méthode du *PONT DE WHEATSTONE*. On substitue le microphone au *CALVANOMÈTRE*, et lorsque celui-ci ne transmet plus aucun son à un téléphone récepteur on en conclut qu'aucun courant ne le traverse et que la proportionnalité des branches du pont est réalisée.

3° Le microphone a été utilisé pour la recherche des fuites dans les canalisations d'eau. (V. *HYDROPHONE*.)

4° Le microphone sert à étudier les mouvements précurseurs des éruptions volcaniques et à percevoir les battements précipités qui caractérisent les secousses de la croûte terrestre. (V. *MICROPHONE SISMIQUE*.)

5° On a cherché à se servir du microphone comme thermoscope, se basant sur ce que la résistance électrique du charbon varie non seulement sous l'influence d'une pression, mais aussi sous l'influence d'une dilatation ou d'une contraction produite par un change-

ment de température. Mais on a reconnu que ces variations de résistance n'étaient pas proportionnelles aux variations de température, et cette application a été abandonnée.

6° On a appliqué le microphone pour dénoncer de très petits changements de pression. (V. *MICROBAROMÈTRE*.)

7° On a appliqué le microphone à la recherche des bruits sous-marins. (V. *TÉLÉPHONE, Applications*.)

8° On a appliqué enfin le microphone à l'étude des phénomènes physiologiques.

M. Trouvé a imaginé pour l'étude des bruits musculaires un tout petit microphone analogue à celui représenté *fig. 2*, dont la base en ébonite est armée de trois pointes lui servant de pieds. Ces pieds forment un triangle de 0^m,01 seulement de côté et l'empêchent de glisser sur le muscle ou l'organe sur lequel on le place. On y ajoute une aiguille pour le piquer à la manière d'une épingle dans un muscle, et on empêche ainsi les bruits dus aux frottements anormaux. A la base du microphone on adapte un fil en caoutchouc souple pour le fixer, et les bruits que l'on entend dans le téléphone adapté à ce microphone sont bien réellement ceux que l'on doit étudier. Les microphones construits par M. Trouvé ne pèsent pas plus de 4 grammes.

M. Boudet de Paris a imaginé dans le même but un appareil microphonique appelé *MYOPHONE*, et un

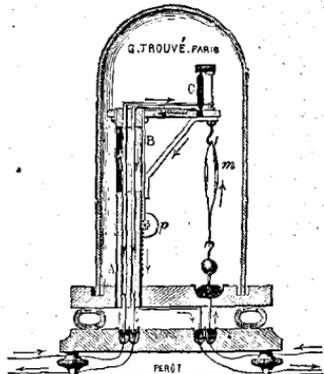


Fig. 13.

Appareil microphonique de MM. Trouvé et de Boyer pour l'étude de la contraction musculaire.

autre appareil, également microphonique, appelé *SPHYGMOPHONE*, à l'aide duquel il explore les battements du pouls et tous les bruits qui se produisent à l'intérieur des vaisseaux.

Enfin M. Ducretet a construit un microphone stéthoscopique pour l'auscultation des poumons et des battements du cœur. (V. *STHÉSCOPE*.)

Nous signalerons, en terminant, l'instrument imaginé par MM. Trouvé et de Boyer pour l'étude de la contraction musculaire. L'appareil est représenté *fig. 13*.

A est un tube fixé au socle supérieur, B un tube portant une potence et un microphone C. Ce tube est monté à frottement dur sur le tube A et s'abaisse ou s'élève à volonté au moyen d'une crémaillère et d'un pignon p. C est un microphone très sensible, le

nusele en expérience; il porte suspendu à son extrémité une petite boule munie d'un crochet et d'une jointe en platine qui plonge dans un godet de mercure. L'appareil de MM. Trouvé et de Boyer est, somme on le voit, une véritable chambre microphonique dans laquelle des expériences physiologiques ou autres peuvent être effectuées dans des conditions déterminées et modifiables au gré des expérimentateurs. Dans le cas des expériences de physiologie musculaire que MM. Trouvé et de Boyer ont communiquées à la Société de Biologie le 17 janvier 1880, l'un des circuits électriques de l'instrument était excitateur du muscle, l'autre communiquait nécessairement avec le téléphone. Les expérimentateurs ont constaté que le travail du muscle ne donne pas lieu à un choc mécanique, qu'il est donc parfait lorsque le muscle est libre de se contracter sans effort et sans résistance.

MICROPHONE SISMIQUE. — Microphone disposé de façon à permettre la perception des coups secs ou battements précipités qui caractérisent les secousses ou les mouvements ondulatoires de la croûte terrestre.

Le microphone sismique de l'observatoire de Forlì (Italie) est établi dans un puits solidement construit en maçonnerie. A 5 mètres de profondeur se trouve un prisme de charbon de cornue percé d'une cavité conique qui constitue, avec un pendule à masse conique de cuivre suspendu par un fil de cuivre de 3 mètres de longueur, le transmetteur microphonique dont les sons sont perçus dans un téléphone Bell placé dans le cabinet de l'observatoire. Le contact imparfait, et réglable d'ailleurs entre la pointe du cône et le bord de la cavité conique du prisme de charbon, varie de résistance avec les mouvements sismiques du sol.

MICROSISMOGRAPHE (du grec *mikros*, petit; *seismos*, choc; *graphein*, écrire). — Appareil destiné à étudier et à transmettre à un enregistreur les très petits mouvements du sol lors d'un tremblement de terre. (V. ENREGISTREURS MÉTÉOROLOGIQUES.)

MICROTASIMÈTRE (du grec *mikros*, petit; *tasis*, tension; *metron*, mesure). — Le *microtasimètre* ou *thermoscope* d'Edison sert à dénoter de très petits changements de pression. Il se compose d'un disque de charbon placé entre deux lames de platine, le tout comprimé par une lige rigide commandée par une vis micrométrique. Le système forme une branche d'un pont de WHEATSTONE; les moindres variations de la pression modifient la résistance électrique du microtasimètre, laquelle est révélée par la déviation du galvanomètre. L'appareil constitue un thermoscope très sensible.

MICROTÉLÉPHONE. — Nom donné à l'ensemble d'un appareil composé d'un microphone et d'un ou deux téléphones récepteurs (v. TÉLÉPHONES). Edison a désigné sous ce nom son téléphone à charbon afin de le distinguer des téléphones magnétiques.

M. Edison appliqua d'une façon ingénieuse à la transmission des sons articulés les propriétés des corps médiocrement conducteurs étudiés longtemps auparavant en France par MM. Du Moncel et Cléremont. Il constata que l'influence de la pression sur la conductibilité de ces corps médiocrement conducteurs se manifestait par des changements notables dans l'intensité des courants, et il construisit un transmetteur téléphonique mettant à profit cette propriété.

Le *microtéléphone* est donc basé sur le principe suivant: « Si on interpose entre deux surfaces conductrices un corps semi-conducteur, comme du charbon par exemple, du noir de fumée, du pétrole com-

MICROPHONE — MICROTÉLÉPHONE

primé, et que l'on fasse passer un courant à travers ce corps semi-conducteur, la quantité de courant qui passera dépendra de la pression exercée par les deux surfaces conductrices et sera d'autant plus grande que la pression sera plus forte. »

Son téléphone se compose donc: d'une boîte en bronze A (fig. 1); d'un couvercle en fonte B; d'une embouchure C en ébonite; d'un diaphragme en tôle D, dont les bords sont fortement scrrés entre le couvercle et la boîte; d'un porte-charbon E, qui est en même temps une vis de réglage; d'une bague en ébonite F, sur laquelle est vissée une bague mince en

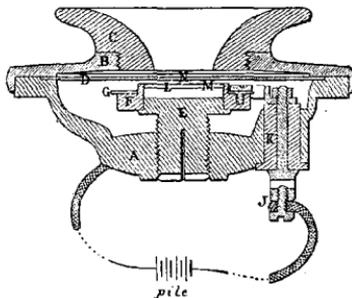


Fig. 1. — Microtéléphone d'Edison. (Coupe verticale.)

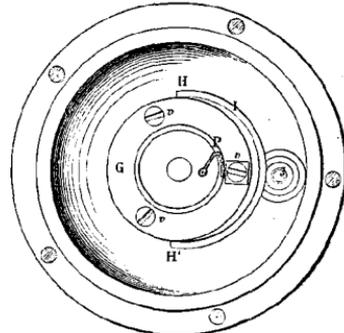


Fig. 2. — Plan.

laiton G ayant deux contacts en H et H' (fig. 2), avec un ressort en laiton I, lequel communique avec une borne J isolée de la masse de la boîte A par un petit cylindre d'ébonite K; d'une pastille L de noir de pétrole aggloméré; d'un disque en maillechort M, dont la surface inférieure est platine pour assurer les contacts avec la pastille de charbon; enfin d'une lentille en ivoire N, qui isole le petit disque de la membrane vibrante D. Quant à la petite bande P en platine, qui est soudée à la surface du disque M et à la bague G, elle sert à établir une communication électrique entre ces deux parties de l'appareil.

Ceci passé, il est facile de comprendre le fonctionne-

ment du téléphone lorsqu'il est traversé par le courant d'une pile dont l'un des pôles est attaché à la borne J et dont l'autre pôle est en communication avec la masse de la boîte A et par suite avec le porte-charbon E. Les vibrations de la membrane D, résultant d'une émission de sons devant l'embouchure, se transmettent au disque M par la lentille N qui, par suite du réglage qu'on lui donne, est presque en contact avec la membrane D. Sous l'action de ces vibrations, la pastille de noir de fumée se trouve soumise à des pressions variables qui se succèdent comme les vibrations de la membrane, d'autant plus longues ou plus rapides que les sons émis devant la membrane sont plus graves ou plus aigus. Le courant, entrant par la borne J, suit le ressort I, arrive au disque par les deux ressorts H et H' en suivant la bande de platine, et traverse la pastille de charbon pour retourner par le porte-charbon à la masse de la boîte du transmetteur et de là à la pile. Ce courant variant, comme nous l'avons expliqué plus haut, avec la pression exercée sur la surface de la pastille par le disque, c'est-à-dire comme les vibrations de la membrane D, traverse le circuit inducteur d'une bobine d'induction, et produit ainsi un courant induit de variations correspondantes. C'est ce courant induit variable qui, arrivant par le fil de ligne jusqu'à un récepteur magnétique, comme celui de Bell, détermine dans ce récepteur des vibrations synchroniques avec celles du transmetteur et reproduit la parole.

Le transmetteur à charbon d'Edison donne de bons résultats; mais il a le grave défaut d'exiger un réglage soigné. Aussi a-t-il été bientôt abandonné et remplacé par les transmetteurs microphoniques qui dérivent du microphone Hughes. Ce savant, étudiant les phénomènes mis en jeu dans les téléphones à compression de charbon, démontra que tout contact imparfait entre des surfaces métalliques conductives constitue un transmetteur téléphonique.

MICROVOLT. — UNITÉ DE FORCE ÉLECTROMOTRICE valant un millionième de volt.

MINES. — Cartouches électrolytiques de M. D. Tommasi. — Plusieurs fois déjà on a eu l'occasion de constater les conséquences désastreuses de l'emploi de la poudre et de la dynamite dans les mines de houille. Les cartouches électrolytiques de M. D. Tommasi pourraient remplacer les cartouches à la dynamite et à la poudre dans l'exploitation des mines de charbon.

(a) **Cartouche électrolytique au carbonate de potassium.** — Cette cartouche se compose d'un cylindre de verre à parois très épaisses, rempli d'une solution concentrée de carbonate de potassium et fermé à la lampe. Chacun des fonds de ce cylindre est traversé par un fil de platine auquel vient s'accrocher l'un des conducteurs d'un DYNAMO ou d'une forte PILE. Aussitôt que l'on fait passer le courant, l'ÉLECTROLYSE se produit; le carbonate est décomposé, et l'acide carbonique et l'hydrogène s'accumulent sous une très forte pression, jusqu'à ce que le cylindre éclate.

(b) **Cartouche électrolytique au chlorure d'ammonium.** — Cette cartouche, en verre épais, comme la précédente, munie d'électrodes convenables, n'est en somme qu'une sorte de VOLTAËMÈTRE fermé. Elle est remplie d'une solution de chlorure d'ammonium (sel ammoniac) que l'on décompose au moyen d'un courant électrique.

La solution de chlorure d'ammonium est tout aussi inoffensive que la solution précédente de carbonate de potassium; de sorte que toutes les manipulations, le transport, la conservation et la mise en place des

cartouches sont exemptes de l'ombre même d'un danger.

Le courant électrique décompose le chlorure d'ammonium en ses éléments: chlore, ammoniac et hydrogène.

Sans tenir compte des réactions secondaires, nous dirons que le chlore agit sur l'ammoniac et le décompose de sorte qu'il se forme de l'acide chlorhydrique et du chlorure d'azote. Or, on sait que le chlorure d'azote est un corps extrêmement explosif, et l'on comprend dès lors que lorsque les gaz ont atteint une tension suffisante pour faire éclater l'enveloppe de la cartouche, l'ébranlement qui résulte de cette rupture fait immédiatement détoner le chlorure d'azote, causant ainsi une violente explosion. Cette cartouche, on le voit, ne devient réellement dangereuse que quand l'électrolyse est commencée, et rien n'est plus aisé, en pratique, de fermer le circuit alors seulement que le personnel tout entier s'est rassemblé autour du générateur du courant.

Il va de soi que l'emploi des cartouches électrolytiques de M. D. Tommasi n'est pas restreint aux seuls travaux intérieurs des mines, mais qu'il convient tout au plus pour l'exploitation des carrières, le percement des tunnels, les dérochements, etc.

MINES (Éclairage électrique des). — Il nous paraît utile d'analyser ici les conclusions formulées par la Commission anglaise d'enquête sur les Moyens de prévenir les accidents de mines et d'en limiter les conséquences désastreuses (1887). — La commission a constaté que l'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE des galeries et des chantiers de mines est une des questions les plus dignes d'attention; elle est d'avis: que les lampes à INCANDESCENCE employées isolément ou par groupes, peuvent être substituées efficacement aux lampes à huile et qu'elles présentent sur ces dernières des avantages marqués sous le rapport de la facilité et de la sécurité; que si les conducteurs sont mis à l'abri des accidents, les lampes à incandescence peuvent être employées comme moyen d'éclairage permanent dans les galeries principales d'une mine; que si l'on se met en garde contre l'éventualité d'une extinction de la lumière, soit en employant deux DYNAMOS ou un nombre suffisant d'ACCUMULATEURS ou batteries secondaires (qui présentent le grand avantage d'assurer une bonne régularisation de l'éclairage), les lampes à incandescence présentent un moyen d'éclairage des galeries sûr et relativement économique. Des essais importants ont été faits dans plusieurs mines et ils ont été satisfaisants. La commission indique le moyen suivant, qui est employé dans les fabriques de poudre de l'État et dans d'autres établissements de l'Angleterre, pour protéger les lampes. On les enforme dans de grands globes ou lanternes (semblables à celles des wagons de chemins de fer), remplies d'eau; le volume de ce liquide est suffisant pour maintenir la lampe à basse température pendant un temps assez long. Cette précaution est à peine nécessaire; mais l'immersion de la lampe à incandescence empêche toute communication avec l'extérieur dans le cas d'un brus accidentel, accident qui est, du reste, fort rare. Il faut aussi mettre les conducteurs en des endroits où ils puissent être protégés, dans la mesure du possible, contre les détériorations, les mauvais traitements ou les accidents dus à la chute du toit ou des parois; le placement des fils conducteurs sous le sol, latéralement à la voie, et l'isolement complet, au moyen de gaines spéciales, des branchements partant de ceux-ci et se rendant aux lampes sont donc des précautions essentielles. La rupture facile des conducteurs, même bien protégés,

et la production d'une étincelle au point de rupture à un moment où il pourrait se produire un dégagement de grisou, constituent une source de dangers si sérieux qu'elle exclut la possibilité, au point de vue de la sécurité, d'employer des conducteurs assez légers pour être rendus maniables dans le voisinage des chantiers de travail, ou dans des endroits où ils seraient spécialement exposés à la chute de la houille et des pierres, ou encore là où on serait obligé de les changer fréquemment de place. On a construit plusieurs modèles de lampes à incandescence transportables pour l'éclairage des tailles. Nous citerons les lampes systèmes Cond, Trouvé, Sivan, Blumberg, actionnées par des piles ou des accumulateurs de petites dimensions. La commission a reconnu que le meilleur de ces systèmes était celui de M. Blumberg, qui consiste dans l'emploi de batteries de piles au chlorure d'argent de la Rue, modifiées par Shivanoff. La lampe de M. Blumberg dure environ huit heures. La commission anglaise pense que l'on arrivera à perfectionner suffisamment les lampes portatives actionnées soit par le courant de piles primaires, soit par le courant de piles secondaires, pour que leur emploi devienne absolument pratique; seulement les lampes ne peuvent donner aucune indication sur l'état de l'atmosphère, leur usage ne peut donc dispenser de l'emploi de quelques lampes de sûreté, même lorsqu'on se sert d'indicateurs spéciaux de grisou.

A l'exposition de Newcastle, en 1886, où l'installation de l'éclairage électrique avait une grande importance, MM. Clarke, Chapman, Parsons et Co^e montèrent les services qui peut rendre l'électricité dans les mines. 53 lampes à arc de 16 bougies, installées dans un local approprié comme une mine étaient aménagées de façon à ne pas donner une lumière trop vive; leur globe était contenu dans une enveloppe diaphane, imperméable à l'air, pour les protéger contre l'entrée du grisou; on évite ainsi tout danger d'explosion pouvant provenir des petites étincelles qui se produisent de temps à autre lorsque la lampe oscille sur son siège. Les conducteurs étaient entourés d'une armature de plomb qui les garantissait contre l'humidité et le choc des blocs de charbon. Les lampes étaient alimentées par la turbine à vapeur et machine dynamo-électrique des mêmes constructeurs. (V. MACHINE.)

MINES (Mise à feu électrique des). — Le procédé ordinaire de mise à feu au moyen de mèches ou cordaux détonants présente de graves inconvénients. Le tirage par l'électricité permet, au contraire, d'effectuer des explosions multiples et simultanées, de produire ainsi des effets importants, de réduire le nombre des trous de mines à perforet et de diminuer notablement le danger des débordages. En résumé, le procédé de mise à feu par l'électricité est plus certain et plus économique.

Voici quelques renseignements pratiques sur la disposition et sur l'emploi des appareils servant au tirage des mines par l'électricité, empruntés à un récent traité de M. Chalou, intitulé *les Explosifs modernes*.

Le matériel se compose d'amorces et de détonateurs, de fils conducteurs et d'un exploseur ou machine fournissant l'électricité.

Amorces. — Les amorces se divisent en amorces à haute tension et en amorces à faible tension. (V. au mot AMORCE ÉLECTRIQUE la description et le dessin des diverses amorces.)

Fils conducteurs. — Les fils conducteurs qui amènent à l'amorce toute la charge électrique de

l'explosif doivent être parfaitement isolés. Dans les galeries sèches on peut employer des fils de fer recuit; mais s'il y a de l'humidité, on se sert de fils de laiton bien recuit de 1/2 millimètre de diamètre ou de fils de cuivre recouverts de gutta-percha. Pour les mines militaires on fait usage d'un câble comprenant une âme d'acier entourée de six fils de cuivre de 1/2 millimètre de diamètre isolés avec de la gutta-percha.

On distingue les *fils d'accouplement*, qui réunissent ensemble les diverses amorces, et les *fils conducteurs*, qui comprennent les conducteurs proprement dits et les fils de retour.

Les circuits qui relient les charges à l'explosif peuvent affecter l'une des dispositions suivantes:

1^o La disposition représentée fig. 1 et dite à *circuit*



Fig. 1.

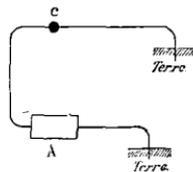


Fig. 2.

simple. Les fils conducteurs et de retour vont de l'explosif E à l'amorce C.

2^o La disposition à *circuit interrompu* (fig. 2). Lc

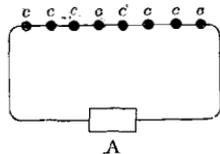


Fig. 3.

il conducteur va de l'explosif A aux amorces c; mais les fils de retour pénètrent en terre.

3^o La disposition à *circuit continu* (fig. 3). C'est le

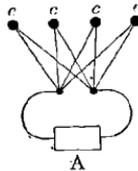


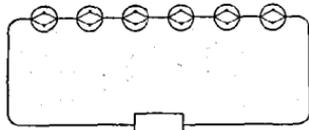
Fig. 4.

cas où l'on a plusieurs amorces réunies les unes aux autres, le fil conducteur va de l'explosif A à la première amorce, puis successivement aux amorces suivantes et revient à l'explosif.

4^o La disposition à *circuit divisé* (fig. 4). Les amorces sont reliées chacune par des fils spéciaux aux

conducteurs aboutissant à la source d'électricité A.

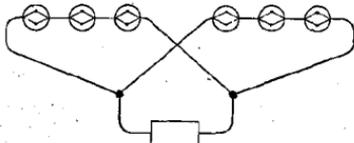
5° La disposition à circuit continu avec amorces divisées (fig. 5). Les amorces sont dédoublées et chaque paire est organisée en circuit divisé. Ce système offre une grande sécurité.



A

Fig. 5.

6° Enfin le circuit continu et divisé à la fois consistant à grouper un certain nombre de charges et à



A

Fig. 6.

former chaque groupe en circuit ainsi que le représente la fig. 6.

M. Chalot donne les règles suivantes pour choisir le circuit le plus convenable :

1° Quand on fait usage d'explosifs à haute tension il faut adopter la disposition du circuit continu avec amorces accolées.

2° Si les amorces sont à faible tension, ou à incandescence, on doit préférer le circuit divisé avec deux amorces pour chaque mine, si toutefois la batterie est assez puissante.

3° En général on peut, en toute sécurité, prendre la disposition du circuit continu toutes les fois qu'il y a deux amorces ou détonateurs par charge; le circuit divisé sera préféré si chaque mine ne renferme qu'une amorce ou un détonateur.

4° Dans certaines circonstances, on trouvera de l'économie dans l'emploi du circuit continu et divisé à la fois.

5° On déterminera le choix du meilleur circuit en calculant le pouvoir de la batterie.

Appareils électriques employés au sautage des mines. — Les appareils électriques employés au sautage des mines sont les batteries électriques et les explosifs proprement dits.

1° Batteries électriques. — On se sert de préférence d'éléments Grove, Leclanché ou de piles au bichromate. (V. MINES.)

On calcule la quantité de couples nécessaires pour un nombre donné de détonateurs et réciproquement par la formule suivante extraite de l'*Instruction in military Engineering*.

$$0,8 \text{ ampère} = \frac{Ez}{Lz + r + R + py}$$

dans laquelle E représente la force électromotrice

de chaque couple, L la résistance du liquide, R la résistance des conducteurs principaux, r la résistance des fils entre les charges, p la résistance d'une amorce ou d'un détonateur et z le nombre de couples exigés pour y détonateurs en circuit continu.

Connaissant E, L, r, R et p, on peut en se donnant z déterminer y, ou en se donnant y calculer z.

Ainsi pour cinq mines comprenant chacune deux détonateurs, on aura, en employant une pile Grove et un circuit continu, en supposant que la longueur des fils entre deux mines consécutives soit de 10 mètres, et que la distance des charges à la batterie soit de 100 mètres :

$$L = 0,2; r = 0,015 \times 40 = 0,6; R = 0,015 \times 100 = 3; p = 2,8$$

et en substituant dans la formule générale :

$$0,8 = \frac{1,35Ez}{0,2z + 0,6 + 3 + 2,8y}$$

d'où

$$z = 13.$$

Il est prudent d'augmenter ce chiffre de 50 % pour tenir compte des déficiences, et on arrive ainsi à $z = 13 + 6 = 19$, soit 25 couples de Grove.

En 1883, le général Newton fit sauter plusieurs grandes mines pour désagréger les rochers du Hell-gate dans le port de New-York.

L'appareil électrique comprenait un ensemble de 23 grandes batteries à immersion, composées chacune d'un certain nombre de batteries partielles. Ces batteries partielles étaient formées chacune de 10 couples au bichromate. La force électromotrice d'un élément pouvait atteindre 1,98 volt; sa résistance ne dépassait pas 0,12 ohm.

Ces 23 batteries étaient ainsi réparties : 7 batteries de 44 couples chacune; 4 batteries de 43 couples et 480 couples de 40 éléments.

2° Explosifs. — Les explosifs proprement dits peuvent se diviser en trois catégories, savoir : les machines électriques à frottement ou machines électro-statiques, les machines magnéto-électriques et les machines dynamo-électriques.

Parmi les machines électriques à frottement il convient de citer celle de Borniardt, qui est la plus employée en France; elle se compose de deux plateaux en caoutchouc durci ou en ébonite mis en mouvement par deux roues dentées et une manivelle, et tournant entre des frottoirs garnis de peau de chat. L'électricité développée par le frottement est recueillie par des peignes collecteurs et ensuite par deux bouteilles de Leyde dont les armatures sont mises en communication avec les extrémités des fils conducteurs allant aux mines. Cette machine ne fonctionne bien que si elle est entretenue dans un état de sécheresse aussi grand que possible. Quand on doit opérer dans une atmosphère humide il faut lui préférer un autre explosif.

Il existe un très grand nombre de types de machines magnéto-électriques. La magnéto de la Ingersoll Rock Drill Company, de New-York, est une des meilleures, et elle a le mérite d'être fort simple. Elle se compose d'un aimant en fer à cheval, entouré de fils de cuivre isolés entre les pôles duquel on fait tourner une armature ordinaire Siemens. Le courant électrique qui se développe est dirigé, quand il a atteint son maximum d'intensité, dans le circuit de sautage.

L'armature Siemens est mise en mouvement à l'aide d'un pigeon commandé par une longue cré-

mailière à poignée, sur laquelle on appuie. Tout l'appareil est renfermé dans une boîte en bois. La poignée et les deux vis d'attache des fils conducteurs sont seuls apparents.

On trouve aussi la machine magnéto-électrique de Breguet dite *cote de rosier*. Le petit modèle pèse 2,750 kilogrammes, le grand modèle 10,500 kilogrammes. Cet explosif est facile à transporter et à manier. (V. EXPLOSIF.)

Les **DYNAMOS** sont des machines électriques au moyen desquelles on développe un courant dans un circuit métallique fermé en faisant tourner une portion de ce circuit dans le champ d'action d'un **AIMANT**. (V. MACHINES ÉLECTRIQUES.)

On emploie fréquemment la dynamo Browning, armée en quantité ou en tension, et qui prend alors le nom de **dynamo-quantité** et de **dynamo-tension**.

La **dynamo-quantité** se compose essentiellement d'un **ÉLECTRO-AIMANT** au-dessus duquel est une armature Siemens à laquelle on communique un mouvement de rotation à l'aide d'un pignon et d'une manivelle. Avec trois ou quatre tours on peut obtenir le maximum d'aimantation; à ce moment on presse sur un bouton, on établit la communication entre les fils conducteurs et de retour de la mine, et on interrompt la circulation du courant dans les fils induits de la machine. Ce courant passe alors dans les fils conducteurs de la mine.

La **dynamo-tension** diffère peu de l'explosif précédent. La longueur du fil enroulé sur l'aimant est seulement plus grande, et un déclat automatique fait passer les courants au moment voulu dans les fils conducteurs de saignée.

Quand la dynamo-quantité est dans de bonnes conditions, elle permet de tirer par incandescence vingt-cinq amorces électriques ou détonateurs. Avec la dynamo-tension on peut tirer quatre-vingts amorces en circuit continu et soixante en groupes de deux en circuit divisé.

Contrôle de l'explosion des mines.

(V. au mot **AMORCE ÉLECTRIQUE** la description et le dessin de l'appareil de M. Ducrest pour la vérification des amorces électriques.)

Disposition indiquée par M. D. Tommasi. — L'appareil électrique étant placé dans un abri convenable, les conducteurs partant de ce point passent devant les divers trous de mines pour aboutir au dernier; tous les précédents sont montés en dérivation sur les conducteurs principaux. Les conducteurs particuliers aboutissent chacun à une petite plaque métallique de quelque épaisseur, et sont munis d'un bout de fil convenablement placé pour la production de l'ÉTRICELLE. Chaque couple de plaques est fixé à la cartouche correspondante, de telle sorte qu'elles soient diamétralement opposées l'une à l'autre et ne puissent, en se touchant, fermer le circuit; en même temps les deux bouts de fil dont il vient d'être parlé se trouvent à la hauteur de l'amorce. On comprend que les plaques présentent une surface et une masse telles que l'effet de l'explosion sera de les écarter violemment l'une de l'autre par les débris, et que le contact subséquent des parties nues des deux conducteurs entre eux n'est plus à craindre.

Quant à l'appareil électrique, il se compose d'une pile de deux éléments, d'une bobine de Ruhmkorff et d'un tube de GEISLER. Les deux conducteurs de ce tube sont reliés l'un avec l'une des bornes de la bobine d'induction, l'autre avec l'extrémité du conducteur principal. Le tube de Geisler sert d'abord à essayer la bobine, ce qui se fait en réunissant les

deux bornes au moyen d'un bout de fil métallique. Cela fait, on fixe aux bornes de la bobine les conducteurs qui aboutissent aux charges. Il ne reste plus qu'à fermer le circuit primaire pour provoquer l'explosion.

Aussitôt que celle-ci s'est produite, on fait passer un nouveau courant inducteur; le tube de Geisler permet de se rendre immédiatement compte du résultat obtenu. S'il demeure obscur, c'est que le circuit induit est interrompu, c'est-à-dire que toutes les charges ont fait explosion. Tel est, du reste, le cas général. Mais si, par exception, l'effluve continue à se produire dans le tube, on est certain que l'un ou l'autre des circuits dérivés, sinon plusieurs, est demeuré fermé, autrement dit que l'explosion d'une ou de plusieurs charges n'a pas eu lieu.

La non-explosion peut provenir des causes suivantes :

- 1° Les amorces explosives ont été fabriquées d'une manière défectueuse;
- 2° Le fulminate de l'amorce n'a guère pas assez énergiquement ou est décoloré;
- 3° Il existe des endroits défectueux dans l'isolement du circuit;
- 4° Le saucisson d'allumage de Bickford s'est déteint;
- 5° La dynamite employée est trop pauvre en nitroglycérine, ou cette dernière a exsudé.

Il s'agit alors de rechercher la cause du rate. A cet effet on détache successivement des conducteurs principaux les conducteurs particuliers de chaque charge en faisant chaque fois passer le courant. Aussitôt que l'effluve cesse de se montrer, on a la certitude que le circuit est interrompu dans tous les trous de mine restants, et que le défaut se trouve en l'un des points que l'on vient d'isoler.

Il suffit, dès lors, d'établir la communication entre les deux conducteurs principaux au point ou au delà du point où l'un s'est arrêté, puis de revenir sur ses pas en rétablissant successivement les dérivations des premières charges, et en faisant passer le courant après chacun de ces rétablissements pour découvrir l'endroit où le circuit n'est pas rompu.

A lors, comme on ne saurait prétendre que le contact n'a pas pu se rétablir, par aventure, après l'explosion, entre les plaques ou les pointes qui terminent les conducteurs particuliers, ou qu'un dérangement de ces organes résultant d'une fixation défectueuse des conducteurs à la cartouche n'a pas pu se produire, il convient de s'assurer, avec toute la précaution possible, de l'état réel des choses dans chaque trou de mine où le circuit n'est pas interrompu.

MODÉRATEUR pour lampe à incandescence.

Instrument ayant pour but d'empêcher l'usure trop rapide des lampes neuves introduites dans un circuit qui en alimente d'autres ayant déjà fonctionné depuis un certain temps, et de régler à volonté l'intensité lumineuse de chaque lampe. Cet appareil, imaginé par M. Roussy, se compose essentiellement d'une douille en matière isolante supportant deux bornes auxquelles aboutissent les deux conducteurs du circuit. L'une de ces bornes est reliée directement à l'une des extrémités du filament de charbon, l'autre communique avec la deuxième extrémité par l'intermédiaire d'une certaine quantité de poudre de charbon de corne renfermée dans une cavité tubulaire. Au fond de cette cavité se trouve une vis de pression à l'aide de laquelle le charbon qui sert de **MODÉRATEUR** peut être plus ou moins comprimé, ce qui permet d'augmenter ou de diminuer à volonté la résistance ainsi intercalée dans le circuit.

MODULE d'un câble. — On appelle **module** pratique d'un câble la longueur de ce câble même dont il pourrait sans danger supporter le poids s'il était suspendu verticalement dans l'eau. On admet d'ordinaire que le module pratique est le tiers du *module de rupture*. On désigne sous ce dernier nom la longueur d'un câble dont le poids entraîne forcément la rupture de ce câble lorsqu'il est suspendu verticalement. Le module de rupture M a pour expression mathématique $M = \frac{A}{D-d}$, en désignant par A la charge de rupture, par D la densité du câble et par d la densité de l'eau de mer.

Moligno (François-Napoléon-Marie, abbé), né à Guéméné (Morbihan) le 29 avril 1804, mort à Saint-Denis le 13 juillet 1884. On lui doit l'un des plus anciens traités de *Télégraphie électrique*, qui fit longtemps autorité dans la matière, et une centaine de volumes sur les *Actualités scientifiques*, parmi lesquels un certain nombre sont exclusivement consacrés à la science électrique.

MOLÉCULES ORIENTÉES. — Nom donné par M. Gravier à des disques de matière non magnétique sur lesquels on fixe, par collage ou soudure, des fils de fer doux parallèles, et qui, étant placés dans une certaine position par rapport aux LIGNES DE FORCE d'un CHAMP électro-magnétique, se déplacent lorsqu'on fait passer un courant dans les BOBINES de l'ÉLECTRO-AIMANT. (V. GALVANOMÈTRE à MOLÉCULES ORIENTÉES.)

MOLETTE. — Petit disque tournant au-dessous d'un tampon mobile garni d'encre et contre lequel le papier est soulevé par l'armature de l'ÉLECTRO-AIMANT à chaque signal du RÉCEPTEUR Morse. La molette mobile a été inventée par M. John, employé des télégraphes autrichiens, en 1836. En France, M. M. Digney l'ont montée sur un axe fixe et rendue plus pratique. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

MOMENT MAGNÉTIQUE. — On appelle **moment** magnétique d'un aimant le produit de sa longueur par l'intensité de ses pôles (*Gordon*). (V. AIMANT, où la question est traitée en détail.)

Moncel, Théodore-Achille-Louis, comte Du), savant français, né à Paris le 6 mars 1821, mort à Paris le 10 février 1881. Il manifesta de bonne heure un goût prononcé pour les sciences; car dès sa sortie du collège de Caen il publia un *Traité de Perspective mathématique* et un *Traité de Perspective apparente*, qui le révélèrent à la fois comme mathématicien et comme artiste. Après un voyage dans le sud et l'est de l'Europe, il fit paraître en 1847 un ouvrage intitulé: *De Venise à Constantinople à travers la Grèce*; mais il abandonna bientôt l'art et l'archéologie pour se consacrer entièrement à la science. Des articles parus dans le « Journal de l'arrondissement de Valognes, » dès l'année 1852 furent l'origine de l'*Exposé des Applications de l'électricité*, dont la troisième édition en 5 volumes forme une encyclopédie complète sur les applications de l'électricité jusqu'en 1878. Depuis cette époque la science électrique a marché à grands pas et le comte Du Moncel a suivi ses progrès au jour le jour dans une série de volumes qui sont entre toutes les mains: le *Téléphone*; l'*Eclairage électrique*; le *Microphone* et le *Phonographe*; l'*Électricité comme force motrice*.

À côté de ces travaux de vulgarisation, Du Moncel a fait un grand nombre d'études théoriques sur l'étincelle d'induction, les électro-aimants, la conducti-

bilité des corps médiocrement conducteurs, et imaginé un grand nombre d'appareils pratiques, dont l'énumération serait longue.

En 1866 il fut nommé ingénieur électricien de l'administration des Télégraphes et occupa ce poste jusqu'en 1873. En 1874 il succéda à Roulin à l'Académie des Sciences, et sa situation scientifique lui valut l'honneur de présenter à l'Institut la plupart des belles inventions électriques produites pendant ces dernières années. Il venait d'être nommé vice-président de la Société internationale des Électriciens et mettait la dernière main à la 2^e édition de son ouvrage sur l'*Électricité comme force motrice* lorsque la mort l'a surpris. (L'Électricien.)

MONOCORDE ÉLECTRIQUE. — Appareil inventé par M. J. Blyth, et dans lequel l'archet ordinairement employé pour faire vibrer la corde est remplacé par un ÉLECTRO-AIMANT. L'appareil comprend un fil métallique tendu traversé par le courant de 8 couples Grove; ce courant est interrompu 128 fois par seconde par un ÉLECTRO-DIAPASON. Au cinquième de la longueur du fil est placé un électro-aimant à pôles pointus; la ligne des pôles est perpendiculaire au fil. Quand on fait passer dans l'électro le courant de Couples Grove, le fil vibre, et en réglant sa tension on lui fait rendre une note musicale. En changeant la position de l'électro, on obtient les diverses harmoniques du son fondamental. Ce sont les interruptions du courant qui font vibrer le fil perpendiculairement aux LIGNES DE FORCE de l'électro.

MONOPHOTE (Régulateur). — Nom donné (du grec *monos*, seul; *phos*, *photos*, lumière) aux appareils électriques d'éclairage qui doivent être montés seuls dans un circuit. (V. RÉGULATEUR.)

MONOTÉLÉPHONE. — Nom sous lequel M. Mercadier désigne un TÉLÉPHONE de n'importe quel système dont le diaphragme a été disposé de façon à pouvoir vibrer transversalement sans obstacle et à laisser se produire facilement la division en lignes nodales correspondant à un son donné bien déterminé. Quand on fait passer dans la BOÎTE de l'appareil une série de courants d'intensité très faible, de période graduellement décroissante, le récepteur ne vibre d'une façon appréciable que sous l'action de courants dont la période est égale à celle du son correspondant à la nodale sur laquelle repose le diaphragme. Il ne reproduit plus une série continue de sons de hauteur graduellement croissante indifféremment et avec la même intensité comme le téléphone ordinaire; il n'en reproduit énergiquement qu'un seul, il n'est plus *paratélephonique*, mais *monotéléphonique*.

MONTAGE DES ACCUMULATEURS. — (V. ACCUMULEMENT.)

MONTAGE DES PILES. — Les COUPLES dont la réunion constitue une batterie ou une PILE se montent, suivant les cas, *en surface* et *en série*. (V. ACCUMULEMENT.)

MONTAGE DE LAMPES ÉLECTRIQUES. — (V. DISTRIBUTION.)

MONTAGE D'UN POSTE. — On désigne ainsi la manière dont sont reliés entre eux les divers appareils, objets et accessoires nécessaires au fonctionnement d'un poste télégraphique ou téléphonique.

MONTAGE d'un Poste télégraphique. — En raison de la très grande variété des systèmes

(télégraphiques, et des modèles d'appareils de toute sorte, on peut varier pour ainsi dire à l'infini les modes de montage. Nous indiquerons seulement les principaux.

Les fig. 1 et 2 représentent le montage théorique de deux Postes à une seule direction avec COMMUTEURS de pile et SONNERIE à RELAIS.

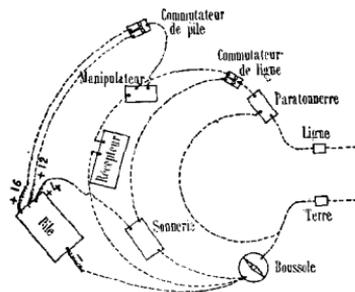


Fig. 1. — Montage théorique d'un Poste télégraphique à une direction. (Boussole sur le fil de terre.)

Dans la fig. 1 le GALVANOMÈTRE ou boussole est situé entre les appareils et la terre; dans la fig. 2 le galvanomètre est situé entre la ligne et les appareils. Cette dernière combinaison est toujours préférable lorsqu'on ne cherche pas, par économie, à employer une seule boussole dans les postes à plusieurs directions. Ces modes de montage s'appliquent aussi bien aux

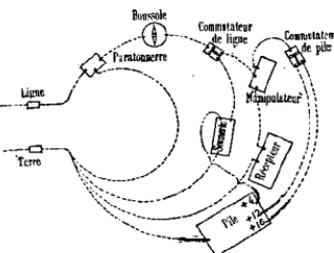


Fig. 2. — Montage théorique d'un Poste télégraphique à une direction. (Boussole sur le fil de ligne.)

appareils Morse qu'aux appareils à cadran; car il n'y a à considérer dans les MANIPULATEURS que les 3 bornes reliées à la PILE, à la LIGNE et au RÉCEPTEUR, et dans le récepteur que les deux bornes d'entrée et de sortie du courant.

Montage d'un Poste Morse à deux directions.

— La fig. 3 donne le schéma du montage d'un Poste Morse à deux directions, avec sonnerie tremblante ou sonnerie à rouage, et sans commutateur de pile. On voit que les commutateurs C_1 et C_2 sont disposés

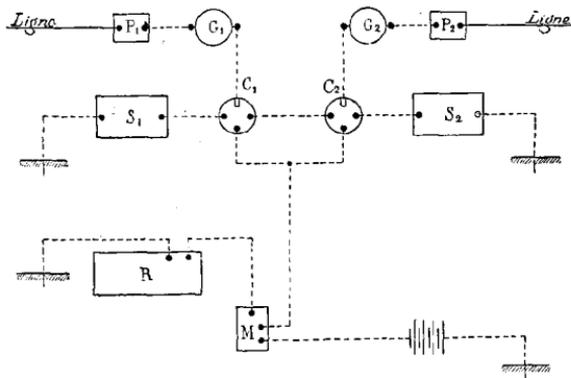


Fig. 3. — Montage d'un Poste Morse à deux directions.

de manière à permettre de donner la COMMUNICATION DIRECTE.

Lorsque la distance qui sépare les deux postes en correspondance est trop considérable pour que le courant émis par le poste transmetteur puisse actionner

les appareils du poste recevant, il faut intercaler en un ou plusieurs points intermédiaires des RELAIS ou appareils de TRANSLATIONS qui reçoivent le courant envoyé par le premier poste et mettent la ligne aboutissant au second en relation avec une PILE LOCALE.

Montage d'un Poste intermédiaire Morse en translation. — La fig. 4 donne le schéma d'un Poste intermédiaire Morse monté en translation.

Dans ce cas chacun des récepteurs est muni de 5 bornes marquées M, I, P, T et L; en L et en T aboutissent les fils des bobines; la borne M (MASSIF)

est reliée à l'axe du levier de l'armature du récepteur; la lame I (intérieur de la colonne) au butoir supérieur, et la borne P (pile locale) au butoir inférieur. Les bornes T des récepteurs sont naturellement en communication avec la terre.

On peut remplacer les récepteurs par des PAR-

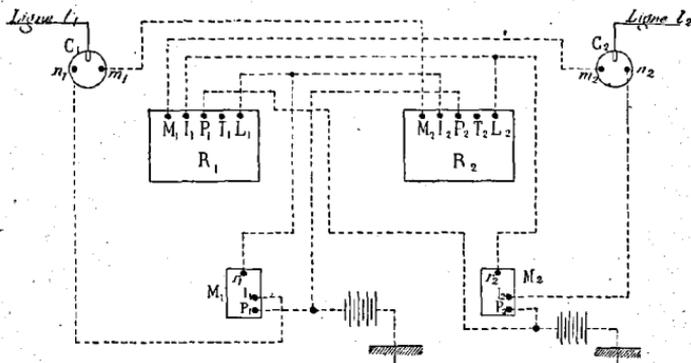


Fig. 4. — Montage d'un Poste intermédiaire Morse en translation.

LEURS dont les cinq bornes jouent le même rôle et portent les mêmes lettres. Dans les parleurs, le butoir inférieur est le noyau de fer doux de l'électro-aimant. C₁ et C₂ représentent des commutateurs à deux directions. R₁ et R₂ sont les récepteurs, et M₁ et M₂ les manipulateurs.

La translation est établie lorsque les commutateurs

sont tous deux sur *m*₁ et *m*₂. On se met en communication avec la ligne *l*₁ ou avec la ligne *l*₂ en mettant les commutateurs en *n*₁ et *n*₂.

Montage d'un Poste intermédiaire Morse par embrochage. — Un autre mode de montage est celui dit par embrochage (fig. 5), dans lequel le poste

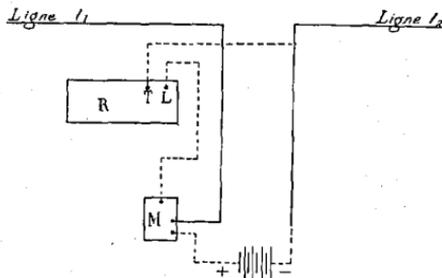


Fig. 5. — Montage d'un Poste intermédiaire Morse par embrochage.

intermédiaire n'a pas de communication avec la terre. Le pôle négatif de la pile et la borne T du récepteur sont reliés tous deux avec la ligne *l*₁. Dans ce système le récepteur du ou des postes intermédiaires fonctionne simultanément avec ceux de tous les autres postes de la même ligne; ce mode de montage offre, l'inconvénient d'exiger la présence constante

d'un employé qui sache lire au son pour reconnaître si les appels s'adressent à lui.

Montage par embrochage à courant continu. — En Amérique et dans d'autres pays on emploie beaucoup un système de montage par embrochage à courant continu.

Les récepteurs intercalés dans le circuit (fig. 6) sont toujours parcourus par le courant, même quand on ne travaille pas. Dans chaque poste extrême se trouve une pile dont l'un des pôles est à la terre, et dont l'autre est relié au centre d'un commutateur à deux directions. Les pôles mis à la terre sont de

normes contraires. Dans le poste n° 1, les deux bornes m et n du commutateur sont en relation avec les bornes r et p du manipulateur M_1 ; la borne l de ce manipulateur est reliée à la borne L du récepteur. Le poste intermédiaire n'a pas de pile. Le fil du poste 1, partant de la borne T du récepteur de ce poste,

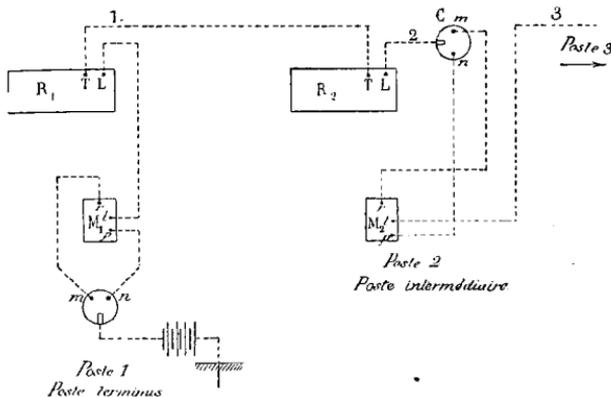


Fig. 6. — Montage par embrochage à courant continu.

arrive à la borne T du récepteur du poste 2; la borne L de ce dernier récepteur est reliée à la manette du commutateur C à deux directions; l'une de ces directions

est en relation avec la borne r du manipulateur, et l'autre avec la borne p de ce même appareil; enfin la ligne venant du poste terminus 3 aboutit à la borne l

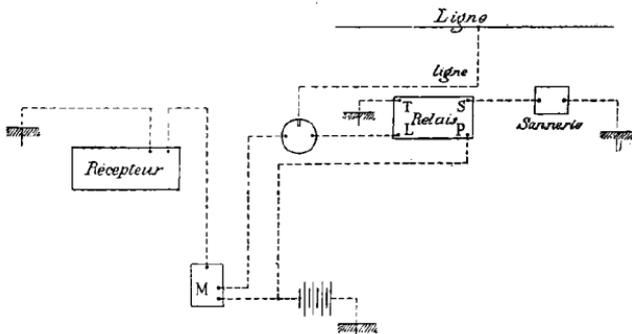


Fig. 7. — Montage par dérivation.

du manipulateur du poste 2. On voit ainsi que lorsque le commutateur C est sur m , le courant fourni par les piles des postes extrêmes 1 et 3 traverse tous les récepteurs. Quand un poste veut travailler, il met son commutateur sur n , il coupe ainsi le circuit, puis il le ferme en manœuvrant son manipulateur comme d'ordinaire.

On peut supprimer le commutateur C et relier alors les bornes L du récepteur et l du manipulateur au poste 2, il suffit de serrer la vis formant le contact du manipulateur, car dans ce cas le levier réunit métalliquement r et p . Alors, pour transmettre, il suffit de rompre le contact simultanément en desserrant la vis et de manipuler à la façon ordinaire. Les

bornes r ne sont pas utilisées, et les bornes p sont reliées à la pile aux postes extrêmes et à la ligne aux postes intermédiaires. Ce montage offre l'inconvénient d'exiger des piles très constantes qui, étant toujours en activité, demandent un entretien permanent. Ces piles doivent d'ailleurs être au sulfate de cuivre; les piles Leclanché se polariseraient au bout de peu de temps. En outre, les plaques de terre se polarisent et diminuent d'une manière notable l'intensité du courant; la plaque correspondant au pôle positif de la pile est rapidement mise hors de service et doit être fréquemment remplacée.

Montage par dérivation. — Un système de montage qui n'exige pas la coupure de la ligne à l'entrée du bureau, mais qui par contre est plus compliqué que les précédents, est celui désigné sous le nom de montage par dérivation (fig. 7, p. 561).

La ligne qui aboutit au poste intermédiaire est une dérivation de celle qui réunit les deux postes ex-

trêmes. Si la résistance des branches du circuit ne peut pas être négligée par rapport à celle des récepteurs, il faut égaliser les résistances des trois sections du circuit en intercalant dans les moins résistantes des bobines placées entre le manipulateur et la ligne. A des distances de 5 à 15 kilomètres (c'est-à-dire opposant au courant une résistance de 50 à 150 ohms), et avec des récepteurs ordinaires (c'est-à-dire pourvus de bobines de 500 ohms de résistance), on peut se passer de cette compensation. Ce montage offre un sérieux inconvénient: la variation de résistance des terres, à la suite d'un orage ou d'une sécheresse prolongée, suffit pour déséquilibrer les branches du circuit.

Montage par courants opposés. — On place aux postes extrêmes deux piles ayant le même pôle à la ligne (fig. 8). Les courants de ces piles se neutralisent, et en manipulant on établit et on rompt la communication du fil de ligne avec la terre, à l'aide du ma-

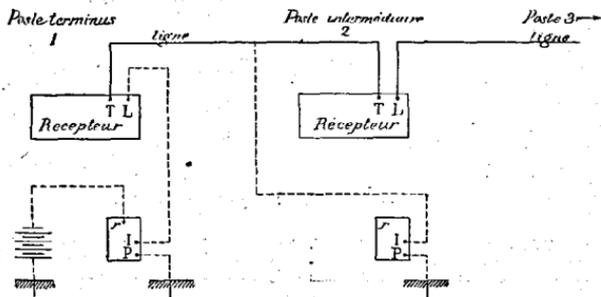


Fig. 8. — Montage par courants opposés.

nipulateur dont la borne P est reliée à la terre. Les récepteurs de tous les postes sont dans le circuit. La borne r du manipulateur reçoit la pile aux postes extrêmes; elle est inutilisée aux postes intermédiaires.

Si, d'une part, le courant est mieux utilisé dans les postes terminus parce que les récepteurs sont mis en jeu par la pile du poste recevant lui-même, dont le courant n'a pas été établi par les dérivations, d'autre part, cette meilleure utilisation de la pile n'existe pas pour les postes intermédiaires. De plus, le montage par courants opposés présente cet inconvénient qu'il est extrêmement difficile de maintenir l'égalité d'intensité entre les deux piles.

Montage avec rappels. — Pour économiser, autant que possible, les frais d'installation des lignes télégraphiques desservant des BUREAUX peu importants, les administrations prescrivent l'emploi le plus fréquent possible d'un tronçon commun se bifurquant à une certaine distance de deux bureaux. Les appareils de l'un fonctionnent sous l'action d'un courant positif, par exemple, et les appareils du deuxième bureau sous l'action d'un courant négatif; il faut alors ajouter aux appareils proprement dits des postes des RAPPELS par inversion de courant et des INVERSEURS. Dans ce cas le rappel fait office de relais de sonnerie. Il en est de même lorsque l'on veut avoir la faculté d'attacher sans intermédiaire des postes qu'il faudrait faire

prévenir par d'autres bureaux au prix d'une grande perte de temps. (V. le mode d'emploi des rappels et le schéma du montage des deux postes avec rappels, au mot RAPPEL.)

Montage en duplex. — (V. TRANSMISSIONS SIMULTANÉES.)

Montage d'un poste téléphonique. — On peut entendre par ce mot l'ensemble des communications établies dans l'appareil microtéléphonique qui contient le crochet-commutateur, le bouton d'appel, le MICROPHONE, les BOBINES D'INDUCTION et le PARATONNERRE. Sur la boîte qui renferme ces divers organes se trouvent les bornes d'attache des fils de pile, de terre, de ligne, de sonnerie et des RÉLÉPHONES récepteurs. On trouvera au mot RÉLÉPHONE le schéma du montage intérieur d'un appareil microtéléphonique du système Ader. Quant au montage du poste entier, il comprend l'ensemble des conducteurs réunissant l'appareil microphonique à la sonnerie d'appel et aux téléphones récepteurs; ces trois sortes d'appareils sont généralement placés sur une planchette ou sur une console, suivant leur type.

Il est matériellement impossible de donner ici les schémas des différents montages que l'on peut réaliser; nous indiquons, à titre d'exemple, la disposition d'un poste microtéléphonique du système Ader avec

somier d'appareil, le tout placé sur une planchette verticale à l'extrémité supérieure de laquelle on aperçoit les bornes où viennent s'attacher les fils de ligne et les fils de pile (fig. 9), le poste représenté sur la figure est à une seule direction et joue le même rôle qu'un poste télégraphique terminus.

Un poste téléphonique peut d'ailleurs être assimilé à un poste télégraphique dans lequel le manipulateur est remplacé par le microphone et le récepteur par un

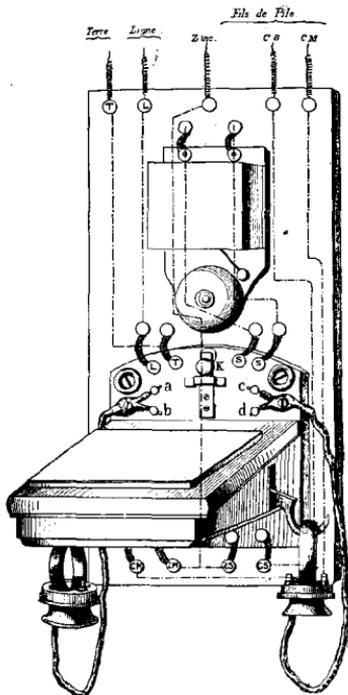


Fig. 9. — Montage d'un Poste microtéléphonique (Système Ador).

ou deux téléphones. On pourra avoir à monter un poste microtéléphonique à deux ou plusieurs directions, et dans ce cas les différents montages indiqués en télégraphie pourront servir d'exemples.

On trouvera d'ailleurs au mot *Télégraphie* des renseignements détaillés sur le montage des postes téléphoniques domestiques simplifiés, et les montages particuliers destinés à résoudre des problèmes spéciaux tels que audition théâtrale, communications téléphoniques à longue distance, etc. Au mot *STATION CENTRALE*, sont décrites les dispositions adoptées pour les bureaux téléphoniques.

Montage des sonneries. — Les sonneries employées pour contrôler la manœuvre des

signaux sur les voies ferrées se montent, suivant les cas, en *DÉRIVATION* ou en *EMBRANCHE*. (V. au mot *Sonneries* les procédés de montage pour les sonneries d'appareil.)

MONTRES (Influence des machines dynamo-électriques sur les). — Il arrive assez fréquemment que les montres sont arrêtées et mises momentanément hors de service par le voisinage des *MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES*.

Tout corps magnétique placé dans un *CHAMP MAGNÉTIQUE* s'aimante dans la direction des *LIGNES DE FORCE* de ce champ, et avec d'autant plus d'intensité que ce champ est lui-même plus intense. Or, jusqu'ici on n'a pas réalisé l'idéal d'une machine dynamo dont le champ extérieur serait nul; il en résulte que toute pièce d'acier placée dans le champ intense développé autour d'une machine s'y aimante et conservera l'aimantation qui lui aura été communiquée. Ce rayonnement magnétique aimante fortement le spiral des montres et l'immobilise. L'aimantation des axes et celle du ressort moteur n'ont qu'une importance secondaire. En général, il suffit que le spiral soit désaimanté pour que la montre reprenne sa marche normale.

Pour éviter les accidents de cette nature, le moyen le plus simple est de se séparer de sa montre avant de s'approcher des machines dynamo-électriques. C'est ce que firent les membres de l'Académie des Sciences, le 5 décembre 1883, lorsqu'ils assistèrent, à Creil, aux expériences sur le *TRANSPORT DE LA FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ*.

Un autre moyen, préventif, consiste à fabriquer le spiral avec un métal non magnétique suffisamment élastique. M. Webster, de Londres, a obtenu de très bons résultats par l'emploi du *paladium*. D'autres constructeurs se sont servis, également avec succès, d'autres métaux ou d'alliages. On peut encore enfermer la montre dans une boîte entièrement en fer, parce que les lignes de force du champ magnétique de la dynamo, trouvant un chemin incomparablement plus facile à travers la boîte en fer qu'à travers la montre elle-même, passent toutes dans l'enveloppe et ne forment pas de champ magnétique à l'intérieur.

Quand on n'a pas pris les précautions nécessaires pour empêcher l'aimantation, il faut forcément la détruire pour remettre la montre en état de marcher.

Un procédé radical, mais long et pénible, consiste à démonter l'instrument, à détrempier ses pièces en les chauffant, ce qui fait disparaître l'aimantation, et à les tremper de nouveau.

M. Hiram Maxim a construit, pour désaimanter les montres, une machine, décrite dans le *Scientific American* du 21 août 1881. Elle se compose en principe d'un *ÉLECTRO-AIMANT* droit horizontal tournant autour d'un axe vertical passant par son milieu, et d'un châssis dans lequel on place la montre à désaimanter. Ce châssis est susceptible de deux mouvements: l'un autour de son axe vertical, l'autre d'éloignement lent de l'électro-aimant tournant. On commence par placer le châssis portant la montre à désaimanter très près de l'électro et on met la machine en mouvement à l'aide d'une manivelle: la rotation de l'électro, celle de la montre et son éloignement produisent des aimantations contrariées dans tous les sens et graduellement décroissantes. Sous l'action de ces variations d'aimantation rapides, la montre perd l'aimantation qu'elle avait accidentellement acquise.

Le principe de la machine de M. Hiram Maxim peut s'appliquer très simplement sans aucun appareil. Il suffit pour désaimanter une montre de l'approcher d'un des pôles d'une machine dynamo et de l'éloi-

gnier lentement en la faisant tourner entre les mains dans tous les sens. M. E. Hospitalier recommande ce dernier procédé aux ingénieurs et aux ouvriers électriciens.

MONTRE TÉLÉGRAPHIQUE. — Nom donné par M. Trouvé à un petit appareil télégraphique à cadran analogue au télégraphe Bréguet, contenant le manipulateur et le récepteur sous un volume très réduit. Cet appareil, qui peut servir pour la télégraphie militaire et pour le service intérieur des grands établissements, est décrit au mot **TÉLÉGRAPHIE**.

MORS ÉLECTRIQUE. — Appareil imaginé par MM. Trouvé et Sidos en 1836 et basé sur l'action physiologique d'un courant d'induction sur le système nerveux. Il se compose de deux parties métalliques isolées entre elles et communiquant aux deux pôles d'une petite bobine d'induction. Une pile à renversement sert à actionner la bobine. Le mors électrique donne un moyen commode d'arrêter un cheval emporté et de corriger certains animaux atteints de tics rongeurs. Il a été expérimenté avec succès dans les haras de l'Etat.

Morse (Samuel-Finlay-Breese), Américain célèbre par l'invention du télégraphe qui porte son nom, né à Charlestown (Massachusetts) en 1791, mort en 1872. Lorsqu'il eut terminé ses études, il s'adonna à la peinture (1810) et partit l'année suivante pour Londres, où il entra dans l'atelier de West et se lia avec Leslie. En 1813, il obtint la médaille d'or de la Société des Arts Adelphi, avec un *Hercule mourant*, et le *Jugement de Jupiter*, qui l'exposa l'année suivante, fut également bien accueilli. De retour aux Etats-Unis en 1815, il habita successivement Boston, New-Hampshire, Charlestown, où il fit des portraits, et se rendit, en 1820, à Washington; là, il fut chargé de décorer la nouvelle salle du Congrès; mais, lorsque son travail fut terminé, on le trouva insuffisant et on refusa de le lui payer. Morse quitta alors Washington et se rendit à New-York (1822). Il y rencontra La Fayette, dont il fit le portrait, ce qui le mit en évidence, et, avec plusieurs artistes de cette ville, il organisa, en 1824, une Société des Beaux-Arts, qui donna naissance à l'Académie nationale de dessin, actuellement existante. Morse en fut élu le premier président et conserva ce titre pendant seize ans. En 1829, il visita l'Europe une seconde fois pour compléter ses études sur les beaux-arts. Il résida pendant plus de trois ans dans les principales villes du continent, afin d'étudier les collections d'art de l'Angleterre, de la France et de l'Italie. Il travailla au musée du Louvre, dont il copia même plusieurs chefs-d'œuvre. Durant son absence à l'étranger, il fut nommé à la chaire de littérature relative aux arts du dessin dans l'université de New-York.

C'est lors de son second retour d'Europe aux Etats-Unis, à bord du paquebot le *Sully*, qui revenait du Havre à New-York en 1832, que Samuel Morse conçut la première idée de son télégraphe électro-magnétique. On parlait un jour devant lui d'une expérience de Franklin, qui avait vu l'électricité franchir dans un instant inappréciable la distance de deux lieues; l'idée lui vint que, si la présence du *stuzpe* pouvait être rendue sensible dans une partie du circuit voltaïque, il ne serait pas impossible de transmettre par ce moyen des dépêches. Cette idée, qui fit dès cet instant le sujet des conversations du bord, devint l'objet constant des méditations de Morse, auquel la physique et les phénomènes de l'électricité n'étaient point étrangers, et, au terme du voyage, le problème pratique était résolu. En quittant le paque-

bot, Morse s'approcha du capitaine William Pell et lui prenant la main : Capitaine, dit-il, quand mon télégraphe sera devenu la merveille du monde, svenez-vous que la découverte en a été faite à bord du *Sully*, le 13 octobre 1832. » Peu après son retour en Amérique, Morse s'occupa de construire l'appareil télégraphique dont il avait conçu l'idée. Mais ce n'est qu'en 1835 que ce même appareil put être soumis à des expériences sérieuses. Morse a raconté comment il fabriqua, en 1832, le premier modèle de cet instrument. Comme il était revenu fort pauvre de ses voyages en Europe, il dut se contenter d'un cadre de tableau pris dans son atelier, des rouages de bois d'une horloge du prix de 5 francs et d'un électro-aimant qu'il tenait de l'obligeance d'un professeur. Ce grossier appareil fut soumis par l'inventeur à plusieurs expériences publiques de 1835 à 1836. L'année suivante, Morse, après avoir modifié son appareil, en fit la démonstration devant les membres de l'université de New-York. Ces expériences firent grand bruit; et c'est pour cela qu'on a fixé par erreur l'année 1837 l'invention de cet appareil, qui avait deux ans de date.

Constatant dans la valeur de son invention, Morse avait demandé au Congrès des Etats-Unis l'examen de son système de télégraphie électrique. Au commencement de l'année 1838 il était à Washington, sollicitant du Congrès les fonds nécessaires pour établir de Washington à Baltimore une ligne télégraphique électrique, qui aurait démontré la possibilité pratique et les avantages de son invention. Des expériences eurent lieu, à l'invitation du Congrès des Etats-Unis, le 2 septembre 1838, sur une distance de quatre lieues, en présence d'une commission de l'Institut de Philadelphie et d'un comité pris dans le sein du Congrès. Le résultat de ces expériences excita dans le comité nommé par le Congrès un intérêt très vif; mais le scepticisme de quelques membres de ce comité, bien que les conclusions de son rapport fussent favorables, se communiqua à la majorité du Congrès, qui laissa l'affaire sans conclusion.

En 1839, Morse s'embarqua pour l'ancien continent, espérant attirer l'attention des gouvernements européens sur les avantages de son invention. Il s'adressa à l'Angleterre et à la France; mais ses démarches ne furent pas plus heureuses, et il se décida à revenir aux Etats-Unis pour reprendre auprès de ses compatriotes et du Congrès les démarches interrompues. Sans appui, sans secours, avec peu d'espérance, mais avec toute l'énergie et la ténacité du caractère américain, il lutta pendant quatre ans contre l'indifférence de ses compatriotes et la tiédeur du Congrès. Enfin, en 1843, il vit sa persévérance couronnée de succès. Par une décision du 3 mars 1843, le Congrès et le Sénat des Etats-Unis lui accordèrent une somme de 30.000 dollars pour se livrer à d'autres expériences sur une grande échelle, et son télégraphe fut mis en œuvre pour la première fois en Amérique, en 1844, par l'établissement de la ligne télégraphique de Washington à Baltimore. Mais la longue attente que l'inventeur avait eu à subir lui a enlevé une partie de la gloire qui aurait dû lui revenir; en effet, pendant ces douze années de démarches infructueuses, qui même étaient venues à d'autres physiciens, qui se trouvaient prêts au même temps que lui.

Le télégraphe de Morse fut d'abord adopté en Autriche, en Prusse et en Suisse, puis en 1856 par l'administration des Télégraphes français. En 1858, les gouvernements de l'Europe se sont entendus pour donner à l'inventeur une somme de 400.000 francs en témoignage de reconnaissance.

Morse s'installa en Amérique, sur les bords de l'Hudson, où il reprit les pinceaux qu'il avait long-

temps négligés. En 1868, il fit un nouveau voyage en France et visita l'Exposition maritime internationale du Havre. Pendant les dernières années de sa vie, il s'occupa beaucoup, dit-on, de trouver le moyen de guérir la surdit-muette au moyen de l'électricité et d'instruments de son invention.

MORSE (Télégraphe). — Appareil télégraphique écrivain. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

MORT (Signes de la). — Méd. On sait que, à part la putréfaction, il n'y a pas de signe certain de la mort. On a voulu en trouver un dans l'état de l'excitabilité musculaire, la mort devant être considérée comme réelle lorsque la contraction des muscles ne peut pas être provoquée par une excitation électrique. Deux difficultés s'opposent à ce que ce mode de vérification ait une valeur pratique. D'abord, dans les circonstances ordinaires, l'excitabilité électrique (galvanique et faradique) des muscles persiste plusieurs heures après la mort apparente, c'est-à-dire jusqu'à un moment où les autres signes suffisent déjà à donner la certitude. Il est vrai qu'en a proposé de s'en tenir à l'exploration de la face, dont les muscles perdent plus rapidement leurs propriétés. Mais de très grandes différences individuelles peuvent se rencontrer. Chez beaucoup d'individus, surtout chez les femmes, il est difficile d'obtenir à l'état normal la contraction électrique de certains muscles de la face. En second lieu, l'exploration de l'excitabilité électrique consiste par elle-même une opération délicate; on ne pourrait se fier à un résultat négatif que si elle était pratiquée par un spécialiste, c'est-à-dire avec une connaissance suffisante des conditions à observer tant dans les appareils que dans le corps.

MORT PAR LA Foudre. — Les personnes frappées par la foudre présentent quelquefois les signes apparents de la mort. La *Lumière électrique* (7 janvier 1838), rappelle le moyen simple conseillé par le directeur de l'Observatoire météorologique de La Havane, M. A. Poyé, pour ramener à la vie les personnes frappées par la foudre (*Annuaire de la Société météorologique de France*, tome II, année 1835, page 55). Ce procédé, qui peut être employé par les électriciens exposés à recevoir des décharges dont l'effet est le même que celui de la foudre, consiste à verser immédiatement sur tout le corps de la personne foudroyée de grands seaux d'eau froide, pendant une heure s'il le faut, jusqu'à ce que le sujet donne des signes de vie. Ce moyen a été adopté universellement aux États-Unis avec un très grand succès, ainsi que le prouvent les nombreux cas recueillis par M. Poyé, et dans lesquels la vie a été rendue à des personnes tombées dans un état d'asphyxie ou de « mort apparente » à la suite d'un coup de foudre. Plusieurs personnes foudroyées ont même dû leur salut à la seule circonstance d'avoir eu la figure humectée par des hasards imprévus.

MORTIER ÉLECTRIQUE. — Petit mortier au fond duquel on met une goutte d'éther et sur la bouche duquel repose une bille d'ivoire. Quand on soufflante l'éther au moyen d'une ÉTINCELLE. L'expansion de la vapeur d'éther a pour effet de projeter la bille. On démontre à l'aide de cette expérience le pouvoir calorifique d'une DÉCHARGE électrique.

MOTEUR ÉLECTRIQUE ou **ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE.** — Machine permettant de transformer de l'énergie électrique en énergie mécanique.

Les petits moteurs électriques sont commodes dans

certaines circonstances, notamment dans les travaux de laboratoire, pour faire mouvoir des COMMUTATEURS rapides, des CHRONOGRAPHES, etc.

La construction des premiers moteurs électriques était basée sur les phénomènes d'AMANTATION et de désamantation instantanée des ÉLECTRO-AMANTS. Un moteur électrique comprend donc un électro-aimant devant les noyaux duquel est placée une ARMATURE ou plaque de FER DOUX maintenue par un ressort et fixée à une charnière qui lui permet de se mouvoir librement. Quand on fait passer le courant d'une pile dans l'électro-aimant ou qu'on interrompt le circuit, l'armature s'approche ou s'éloigne des noyaux; la vitesse dont cette armature est animée dépend de la rapidité avec laquelle ont lieu ces communications et ces interruptions, et en transmettant ce mouvement de va-et-vient de l'armature aux divers organes d'une machine, on constitue un moteur électrique sur l'arbre duquel on peut recueillir le travail mécanique produit.

La puissance de ces machines dépend de l'ÉTENDUE du courant qui les alimente, des dimensions du barreau aimanté, de la longueur et du diamètre du fil qui entoure l'électro-aimant, du dispositif donné aux divers organes de transmission. Il est nécessaire, pour rendre utilisable la force que peuvent déployer ces moteurs, que le courant qui les anime puisse être interrompu d'une façon régulière et périodique par le moteur lui-même. Quelquefois on substitue à l'électro-aimant un SOLENOÏDE dont les effets sont identiques à ceux d'un électro-aimant. Pour une même intensité de courant on peut obtenir moins d'effet et une course plus longue avec le solénoïde, tandis qu'avec l'électro-aimant on obtient plus d'effort mais moins de course. Les moteurs avec solénoïdes ressemblent à une machine à vapeur; l'armature tient lieu de piston et la bobine de cylindre.

Pour augmenter la puissance du moteur, on accouple ensemble plusieurs électro-aimants. On dispose les bobines et les armatures sur des disques qui permettent de supprimer les divers organes des machines ordinaires et transforment directement le mouvement alternatif en mouvement continu.

Le premier moteur électrique a été construit en 1831 par l'abbé Salvator del Negro, de Padoue. En 1839 Jacobi construisit un moteur dont la force fut suffisante pour mettre en mouvement pendant plusieurs heures un bateau monté par douze personnes; mais il fallut une pile de cent-vingt-huit couples Grove de grande dimension, qui dégagèrent une grande quantité de vapeurs d'acide hypoazotique, et la dépense s'éleva à 60.000 francs. Aussi Jacobi, découragé, abandonna le problème. Palterson en 1840, Davidson en 1842, Page en 1850, construisirent également des moteurs électriques, qui ne donnèrent pas de meilleurs résultats. Les deux moteurs les plus remarquables sont ceux qui ont été combinés par M. Bourbouze et par M. Froment. Celui de M. Bourbouze est basé sur l'action des solénoïdes. Deux couples de bobines d'électro-aimants attirent tour à tour deux tiges de fer doux articulées qui commandent un balancier (fig. 1). Ce dernier se relève chaque fois que le courant traverse les premiers solénoïdes et s'abaisse lorsque le passage du courant a lieu dans les deux bobines placées à l'arrière. À l'extrémité du balancier se trouve une bille qui commande le volant du moteur. La pile, enfermée dans le bâti de la machine, communique par des conducteurs avec une pièce particulière qui distribue périodiquement et régulièrement aux bobines le courant qui les anime. Cette pièce se compose de deux morceaux de fer isolés par une lame d'ivoire sur laquelle glisse un curseur mé-

taille qui frotte alternativement sur le premier ou le second morceau de fer. Le courant est ainsi lancé tantôt dans l'un des couples de bobines, tantôt dans l'autre. Le curseur est mû par un excentrique analogue à celui qui guide les tiroirs dans les machines à vapeur.

Le modèle de Froment diffère de celui de M. Bourbouze par les électro-aimants dont s'est servi ce constructeur et par la disposition particulière qu'il a donnée

à son appareil. Six barres de fer équidistantes, et servant d'armatures, sont placées sur une large roue en bois autour de laquelle se trouvent fixés, sur un bâti de fonte, six couples d'électro-aimants. Lorsque le courant traverse l'un des couples, l'armature qui en est la plus proche est aussitôt attirée et imprime à la roue un mouvement de rotation; celui-ci se continue jusqu'à ce que l'armature soit arrivée en face de l'électro; mais à ce moment le courant quitte la première

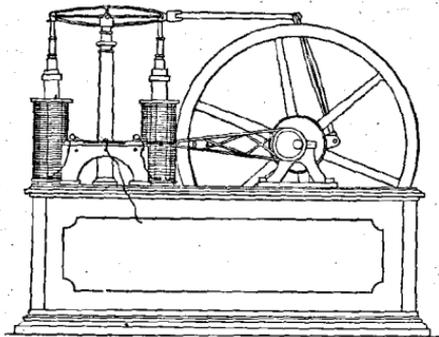


Fig. 1. — Moteur de M. Bourbouze.

paire de bobines, passe dans la suivante, laquelle se comporte de la même façon, puis circule alternativement dans chacun des six électros qui composent le système. La roue continue donc à tourner tant que le circuit reste fermé.

Pour produire les interruptions périodiques du cou-

rant, Froment a placé sur l'axe de rotation un interrupteur qui distribue l'électricité de la pile successivement à chacune des bobines du moteur.

La machine de Froment était, à l'époque de sa construction, une des plus puissantes et des plus parfaites de ce genre. Néanmoins la force n'était pas

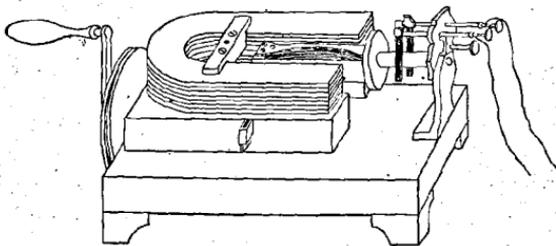


Fig. 2. — Moteur de M. Marcel Deprez.

assez considérable, et la dépense qu'elle nécessitait était beaucoup trop grande pour qu'on pût l'utiliser industriellement.

A peu près vers la même époque, M. Siemens construisit un moteur fondé sur l'emploi de sa bobine cylindrique longue en forme de double T. (V. MACHINE ÉLECTRIQUE, *Armature Siemens*.)

Nous citerons ensuite les moteurs imaginés par MM. Gautier, Berlin, Gire, Desruelles, Breton, Allan, Bonnet, Marié-Davy, Loiseau, Larrenjeat, Roux, Wheatstone, Fessel, Fabre, Kunemann, Ber-

thoud, Borel, Cance, Trommelin et Dandigny, etc. Ces moteurs sont assez énergiques.

M. Marcel Deprez et M. Trouvé ont encore construit des moteurs qui, eu égard à leurs poids et à leurs dimensions, ont donné de bons résultats à grande vitesse.

Le premier de ces appareils (fig. 2) consiste en une bobine Siemens tournant entre les branches d'un aimant permanent en fer à cheval et disposée parallèlement à ces branches afin d'utiliser la plus grande partie du MAGNÉTISME de l'aimant. Deux BALAIS en

fil de laiton recueillent les courants redressés par un COMMUTEUR.

En amenant le courant d'une pile à ces balais, on obtient un petit moteur électrique pouvant actionner une machine à coudre ou remonter les poids de certains appareils télégraphiques.

L'organe principal du moteur de M. Trouvé est, comme celui de M. Duprez, une bobine Siemens à laquelle l'inventeur a donné une disposition particulière. Elle consiste en un cylindre de fer *f* sur la longueur et sur les bords duquel est entaillée une gorge longue et profonde *ce*, où s'enroule un long fil de cuivre isolé avec de la soie (fig. 3). Cette bo-

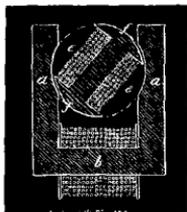


Fig. 3. — Moteur de M. Trouvé. (Coupé.)

bine constitue une sorte d'électro-aimant dont les surfaces polaires *ff*, au lieu d'être des portions d'un cylindre dont l'axe coïncide avec celui du système,

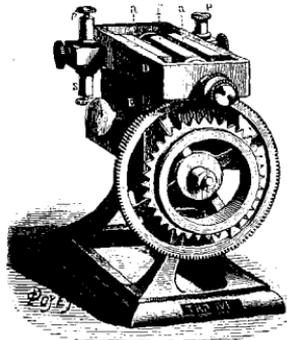


Fig. 4. — Moteur de M. Trouvé. (Vue perspective.)

sont en forme de limaçon, de telle sorte qu'en tournant elles s'approchent peu à peu des électro-aimants, jusqu'au moment où le bord postérieur échappe le pôle de chaque aimant. Grâce à cette disposition, M. Trouvé évite le point mort et obtient un accroissement de travail très notable. Dans une communication faite en 1880 à l'Académie des Sciences, M. Trouvé indiquait avoir obtenu les résultats suivants : « Un moteur d'un poids de 5 kilogrammes, actionné par des ARZÉLUMIÈRES Planté produisant un travail effectif de 7 kilogrammètres par seconde, fut placé sur un trièdre dont le poids, y compris le cavalier et les piles, s'élevait à 160 kilogrammes, et l'en-

traîna à la vitesse de 12 kilomètres à l'heure. Le même moteur, placé sur un bateau de 5^m,50 de long sur 1^m,20 de large contenant trois personnes, lui imprima une vitesse de 2^m,50 par seconde en descendant la Seine au pont Royal et de 1^m,50 en remontant le fleuve qui était très agité. Le moteur était actionné par deux batteries de piles au bichromate de potasse de six couples chacune, et le propulseur était une hélice à trois branches. La même année, M. Trouvé renouvela l'expérience sur l'eau tranquille du lac supérieur du bois de Boulogne avec une hélice à quatre branches de 28 centimètres de diamètre et douze couples de Bunsen plats, genre Ruhmkorff, chargés avec 1 partie d'acide chlorhydrique, 1 partie d'acide azotique et 2 parties d'eau dans le vase poreux, afin d'atténuer le dégagement des vapeurs hypoazotiques. La vitesse au début, mesurée au moyen d'un loch ordinaire, atteignit 150 mètres en quarante-huit secondes ou un peu plus de 3 mètres par seconde; après trois heures de marche elle était descendue à 450 mètres en cinquante-cinq secondes, et au bout de cinq heures de marche la vitesse était encore de 2^m,50 par seconde. »

M. Tissandier a utilisé le moteur Trouvé pour la NAVIGATION AÉRIENNE, et M. Journaux l'a appliqué à la manœuvre des machines à coudre.

Le moteur de M. Cloris Baudet, représenté fig. 5,

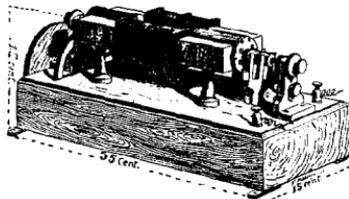


Fig. 5. — Moteur de M. Cloris Baudet.

se compose de deux électro-aimants droits parallèles dont les extrémités servent d'inducteurs à deux bobines induites genre ARMATURE SIEMENS à double T. Ces deux bobines, placées aux extrémités d'un même axe, sont à angle droit, ce qui évite les points morts. Les armatures de ces moteurs se distinguent de celles de Siemens en ce que la partie recouverte de fil, au lieu d'être à âme plate, est constituée par une série de bobines cylindriques dont les noyaux servent d'entretoises aux joies de l'armature. M. Cloris Baudet prétend ainsi simplifier la construction de la machine et lui assurer un meilleur rendement.

Actuellement on remplace les moteurs que nous venons de décrire par des MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES, en se basant sur leur réversibilité.

Parmi les machines dynamos employées comme moteurs, citons principalement les machines Gramme et Siemens.

Application des moteurs électriques aux machines à coudre.—M. Journaux a appliqué le moteur Trouvé d'une manière ingénieuse aux machines à coudre (fig. 6). Ce moteur, abrité par la boîte *B*, est rendu solidaire de la machine, et monté verticalement sur deux pivots situés à peu près au centre. L'axe de la bobine du moteur est muni d'une poulie à friction cerclée de cuir ou de caoutchouc, qui frotte sur le volant supérieur *9* de la machine et l'entraîne. Les conducteurs *3* et *4* servent d'amène de courant; la mise en

marche s'opère par une légère pression sur la pédale 1, qui a pour effet de fermer le circuit en 2; le

tercéele dans le circuit et fixée par un crochet à la pédale. Plus on presse sur celle-ci, plus les contacts des maillons sont assurés et plus le courant devient intense, ce qui détermine l'accélération du moteur. Pour arrêter la machine, il suffit de laisser la pédale remonter sous l'action d'un ressort plat fixé en dessous. Le montage du moteur sur pivots permet de l'écarter du volant, au moyen du levier 6, de manière à pouvoir remettre la courroie 8 sur les gorges des volants et se servir du pied comme à l'ordinaire.

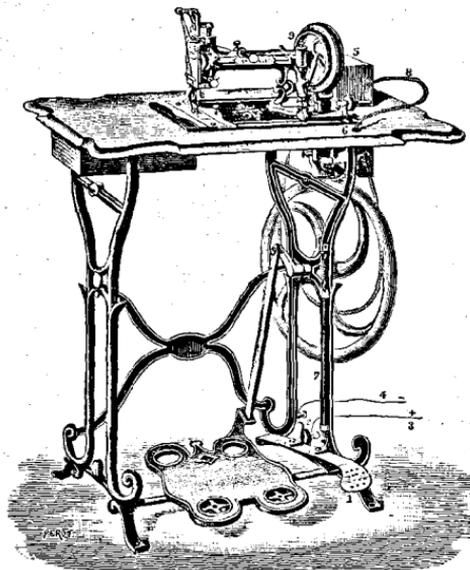


Fig. 6. — Machine à coudre mue par un Moteur de M. Trouvé. (Journaux.)

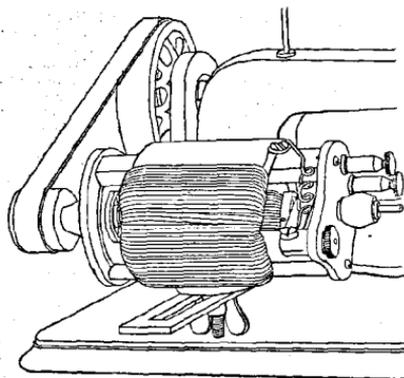


Fig. 7. — Moteur de M. Griscom.

changement de vitesse s'obtient au moyen d'un rhéostat placé dans le tube en ébonite 7. Ce rhéostat se compose d'une chaîne d'argent à maillons ronds in-

puisse tourner avec lui ou devenir fou, disposition prise dans toutes les machines à coudre pour permettre de garnir de fil les bobines de la navette.

M. W. Griscom a imaginé, dans le même but que M. Journaux, un petit moteur électrique qui se compose d'une bobine Siemens tournant entre les pôles d'un électro-aimant annulaire (fig. 7). La bobine est placée au centre de l'INDUCTEUR, et le courant est transmis au commutateur par des galets qui roulent à sa surface pendant la rotation de la bobine. L'inventeur attribue le bon fonctionnement de son moteur à un effet d'induction de la bobine mobile sur les fils des électros, qui agit dans le même sens que le courant exciteur et renforce le champ magnétique. L'appareil de M. Griscom peut facilement s'adapter à toutes les machines à coudre; une pile à treuil de six couples au bichromate de potasse suffit pour actionner ce moteur, dont on règle la vitesse en plongeant plus ou moins les éléments de la pile dans la solution excitatrice.

Plus récemment, M. Philippe Diehl, de Elisabeth (New-Jersey), a combiné le moteur et la machine à coudre en un seul appareil, ce qui présente l'avantage de supprimer l'emploi d'une machine auxiliaire et d'une courroie. La fig. 8 (v. p. 559) représente la vue extérieure de l'appareil complet. Le moteur est contenu dans l'intérieur de la roue et relié directement à l'arbre. Les fig. 9 et 10 donnent la vue de l'électro-aimant et de l'armature. L'électro-aimant, qui est d'une seule pièce, est recouvert d'un fil dont les extrémités aboutissent aux balais; il est fixé à demeure sur le palier au travers duquel passe l'arbre de la machine. L'armature est du type Gramme; elle est contenue tout entière dans la jante de la roue. Les fils, venant de la circonférence, se rendent au collecteur placé près du palier, et les balais des électros s'appuient contre les segments de ce collecteur. Les fils passent à travers la moulure creuse du châssis et se rendent à un commutateur permettant de mettre la machine en marche ou de l'arrêter. Le volant est armé d'une griffe ou d'un mouvement d'arrêt en connexion avec l'arbre, de telle sorte que ce volant puisse tourner avec lui ou devenir fou, disposition prise dans toutes les machines à coudre pour permettre de garnir de fil les bobines de la navette.

Dans ce cas on débraye le volant. Il suffit de dévisser un écrou placé en arrière de la machine pour enlever l'armature et visiter ainsi tous les organes du moteur. Les gravures qui accompagnent cette description ont été empruntées à *l'Electrical World*.

Moteur électrique pour la manœuvre des signaux de chemins de fer. — Mécanisme imaginé par MM. G. Dumont, Inspecteur

principal, chef du service télégraphique de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, et Postel-Vinay, constructeur d'appareils électriques, pour manœuvrer les signaux de chemins de fer (disques de protection des gares, signaux de bifurcation, etc.). L'appareil est simple et rustique, il forme un tout indépendant et s'adapte à peu de frais aux signaux existants, sans qu'il soit nécessaire de les déposer. Ce moteur fonctionne sous l'action d'un courant continu fourni par

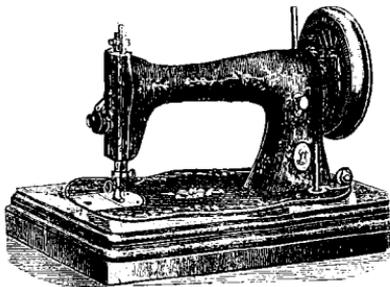


Fig. 8. — Machine à coudre avec Moteur Diehl.

une pile au sulfate de cuivre. Le mécanisme qui produit la rotation de l'arbre du disque est placé à côté de cet arbre dans une boîte qui peut être hermétiquement close. Le socle du moteur renferme un arbre horizontal OO sur lequel sont montés (fig. 11, 12 et 13, page 570) un treuil à encliquetage T, une roue R à dix dents *ddl*... de forme trapézoïdale; chaque dent porte une goupille *g* en acier, implantée dans la roue, parallèlement à l'axe O, et ces goupilles sont placées alternativement de côté et d'autre du plan de cette roue (fig. 11); une roue R', solidaire de la roue R,

dans l'un de l'autre et montés sur une double chape. Les axes A et A' sont entaillés de moitié de leur diamètre sur une partie de leur longueur; 2° d'un électro-aimant E à deux bobines horizontales devant les

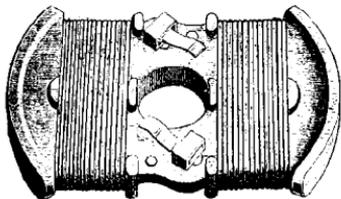


Fig. 9. — Electro-aimant.

est armée de dix bras F, F, F disposés radialement, et de cinq dents H, H, H... de forme particulière, perpendiculaires au champ de la roue R'. L'axe O est muni d'une manivelle qui sert à remonter le poids du moteur. Il est supporté par un bâti K sur lequel est monté le mécanisme d'encliquetement.

Ce mécanisme se compose : 1° de deux leviers identiques LL' portant en leur milieu un bras SS', et à leur extrémité une goupille transversale GG entaillée de moitié. Ces deux leviers font corps avec leurs axes de rotation AA, lesquels sont indépen-

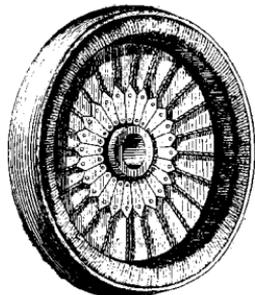


Fig. 10. — Armature.

duquel se trouve une armature se composant d'une pièce rectangulaire aux deux extrémités de laquelle sont implantées deux tiges verticales terminées par des crochets orientés l'un à droite, l'autre à gauche de l'axe d'oscillation de l'armature. Ces crochets *c* et *c'* sont placés en regard des goupilles G et G' des leviers L et L'; ils servent à enclencher alternativement ces leviers suivant que l'armature est attirée ou non par l'électro-aimant; 3° d'une pièce P faisant corps avec un arbre horizontal X tournant sur pivots, et qui peut basculer

sous l'action d'un contrepoids V. Cette pièce porte trois bras en acier (Fig. 11). Les deux bras extrêmes (B et B') sont rectilignes et taillés en sifflet à leur extrémité libre, de façon qu'ils puissent entrer dans les entailles pratiquées sur chacun des axes A et A'

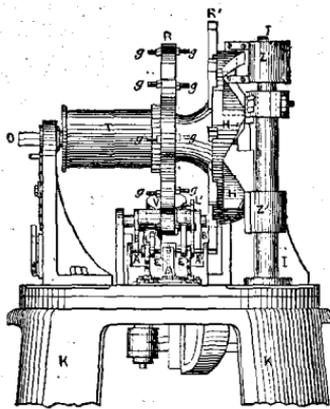


Fig. 11. — Vue latérale.

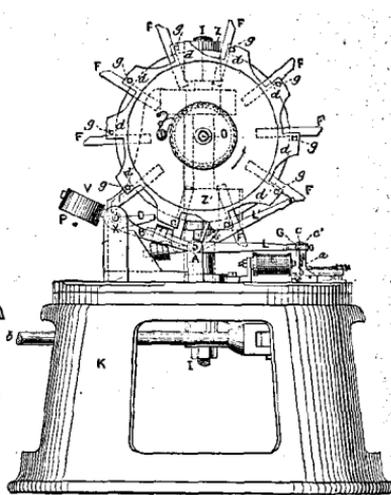


Fig. 12. — Élévation.

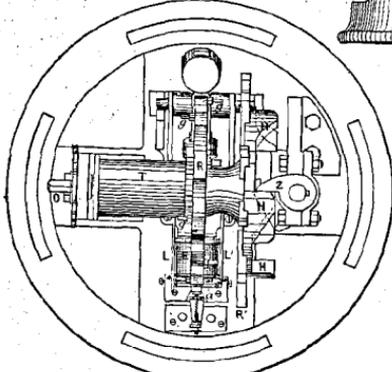


Fig. 13. — Vue en plan.

(sur la Fig. 13 le bras B' est caché par le bras B). Le bras intermédiaire D vient s'engager entre les dents de la roue R lorsque le contrepoids V est abaissé, ce qui empêche alors cette roue de revenir en arrière. L'arbre vertical I du moteur tourne dans des colliers; cet arbre est muni de deux cames Z, Z' et d'un butoir inférieur. Les cames servent à faire tourner l'arbre I lorsqu'elles sont entraînées par les dents HH de la roue R'. Le mouvement de rotation de l'arbre I est transmis à l'arbre du signal par des manivelles et une bielle.

Un signal (disque ou signa d'arrêt quelconque) pourvu d'un moteur Dumont et Postel-Vinay est transformé à peu de frais en un DISQUE ÉLECTRIQUE offrant toute garantie de bon fonctionnement, puisqu'il le mécanisme est excessivement simple et ne contient

aucun rouge, c'est-à-dire aucune partie délicate et exposée à s'user. L'expérience a d'ailleurs démontré que cet appareil est excellent; un disque avec moteur électrique placé à la gare du Raincy fonctionne depuis deux ans de la façon la plus satisfaisante. Ajoutons que tout dérangement survenant dans la pile, dans le fil conducteur, etc., a pour effet de mettre le signal à l'arrêt, ce qui évite toute chance d'accident. (V. au mot DISQUE ÉLECTRIQUE les avantages résultant, pour l'exploitation des voies ferrées, de l'emploi des disques électriques.)

Moteurs à gaz et à pétrole. — On emploie beaucoup, dans la petite industrie, des moteurs à gaz et à essence de pétrole dans lesquels le mélange d'air et de combustible gazeux est enflammé soit par l'ÉTINCELLE d'une BOBINE de Ruhmkorff, soit par l'étincelle d'une petite MACHINE MAGNÉTO ou DYNAMO.

MOTEUR GÉNÉRATEUR. — Nom sous lequel on désigne en Angleterre des TRANSFORMATEURS ayant pour but d'augmenter le rayon de distribution des STATIONS CENTRALES, rayon qui, par l'emploi du système en dérivation, se trouve limité à quelques centaines de mètres. Les moteurs générateurs sont des transformateurs rotatifs dont le principe a été indiqué par M. Cabanellas en 1880 (v. ROBINET ÉLECTRIQUE); ils permettent d'utiliser pour des distributions à basse tension et courants continus des courants continus

de haute tension. Il y a actuellement (1888), trois systèmes de moteurs générateurs ou transformateurs à courant continu : le système Edison ; le système Joli et Rupp et le système Paris et Scott. Ce dernier a figuré à l'exposition de Newcastle.

MOTOGRAFHE ou MOTOPHONE. — Appareil électrique imaginé par Edison pour servir soit de relais télégraphique, soit de récepteur de parole dans un circuit téléphonique. (V. ÉLECTRO-MOTOGRAFHE.)

MOU D'UN CABLE. — Longueur supplémentaire à donner à un CABLE sous-marin pour que ce câble puisse être déposé sans tension au fond de la mer et relevé facilement en cas de DÉRANGEMENTS. Le mou à donner à un câble varie entre 5 et 10 % de sa longueur et va quelquefois jusqu'à 20 %, y compris la traction destinée à compenser les écarts de route.

MOUSE-MILL. — Petite MACHINE ÉLECTRO-STATIQUE, du genre de la machine REPLENISHUR, employée dans le récepteur de Thomson (SIMON RECONDER) pour électriser l'encre.

MOXA ÉLECTRIQUE. — Mode de cautérisation produite par l'ÉLECTRIQUE ÉLECTRIQUE.

Multhead (John), ingénieur-électricien, mort en octobre 1885, à 78 ans. Il avait installé les premières LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES et pneumatiques de Londres, et apporté des perfectionnements remarquables aux PILES. L'un de ses fils est l'inventeur du système DUPLEX appliqué aux câbles sous-marins.

MULTIPLE (Télégraphe). — Télégraphe au moyen duquel on transmet plusieurs dépêches simultanément, soit en sens contraire, soit dans le même sens sur un seul fil. (V. TÉLÉGRAPHIE et TRANSMISSION SIMULTANÉE.)

MULTIPLEX. — Dénomination qui s'applique à tous les appareils télégraphiques (Meyer, Baudot, Edison, Phelps, etc.) permettant de transmettre et de recevoir à la fois plusieurs dépêches en se servant d'un seul fil conducteur. (V. TRANSMISSION SIMULTANÉE.)

MULTIPLICATEUR. — Nom donné au GALVANOMÈTRE par Schwëigger, qui en inventa la disposition en 1820 ; il l'appela ainsi parce que le cadre avec ses nombreuses spires multiplie l'action du courant sur l'AGUILLE AIMANTÉE.

Multiplicateur de Warley. — Appareil forcé par des conducteurs métalliques fixés sur une roue en ébonite tournant à l'intérieur de deux surfaces métalliques qui jouent le rôle d'INDUCTEURS. Ces conducteurs viennent frotter dans leur mouvement contre des boutons reliés à la terre et d'autres en relation avec les inducteurs. Cet appareil joue le même rôle que le REPLENISHUR et permet en quelques tours à l'appareil de recueillir de l'électricité à un haut POTENTIEL.

Multiplicateur de potentiel. — Appareil imaginé par M. N. Halwachs pour répéter rapidement la charge d'un CONDENSATEUR et sa décharge à travers l'ÉLECTROMÈTRE. On sait que pour mesurer de faibles différences de potentiel (A VOLTS par exemple) avec l'électromètre absolu, il faut recourir au condensateur ; mais, pour obtenir avec de faibles potentiels une charge suffisante, il faut donner à ce condensateur des dimensions excessives, ou rappor-

cher beaucoup les armatures, ce qui ne permet plus de supposer constant son facteur d'amplification. De plus, la perte d'électricité par le condensateur est sensible quand la durée d'oscillation de l'électromètre est un peu grande. Or, en employant le multiplicateur, le potentiel de l'électromètre sera, après un nombre suffisant de charges, égal à celui de la source d'électricité considérée, multiplié par le facteur d'amplification du condensateur. L'appareil se compose essentiellement d'un condensateur semi-cylindrique dont une des armatures, fixe, est reliée au sol, tandis que l'autre est animée d'un mouvement de rotation. On trouvera la description complète de l'instrument, dont nous ne pouvons ici qu'indiquer le principe, ainsi que l'exposé des précautions à prendre pour s'en servir et les différents calculs qui s'y rapportent dans les *Annales de Wiedemann* (décembre 1886).

MULTIPOLAIRE (Machine). — Dans les MACHINES DYNAMOS en général le CHAMP MAGNÉTIQUE inducteur est formé par deux pôles magnétiques seulement ; au lieu de prendre deux pôles, on peut en disposer un plus grand nombre en les plaçant deux par deux aux extrémités d'un même diamètre. Les bobines ou spires de l'induit traversent les différents champs magnétiques ainsi produits et subissent dans chacun d'eux la même action que s'ils étaient seuls. Les machines ainsi disposées reçoivent le nom de *machines multipolaires*. Avec cette disposition, on peut faire de puissantes machines sans augmenter la longueur des circuits magnétiques. On rend ainsi l'excitation plus économique.

MUSCLE ARTIFICIEL. — Appareil imaginé par M. d'Arsonval pour démontrer que l'organisme est doué d'irritabilité, c'est-à-dire à la propriété de pouvoir subir une modification de forme ou un déplacement à la suite de toute excitation physique ou chimique extérieure. L'appareil de M. d'Arsonval se compose d'un tube en caoutchouc AB séparé en une série de compartiments par des disques en bambou sur lesquels le caoutchouc est ficelé (fig. 1). Dans chaque compartiment on introduit un globe de mercure, et on achève de remplir ce compartiment avec de l'eau acidulée. Le globe de mercure représente le noyau de la cellule (c'est-à-dire l'organisme élémentaire de tout tissu animal, et l'eau acidulée les matières albuminoïdes de la cellule, ou PROTOPLASMA. Si maintenant on suspend ce tube par la partie supérieure, si l'on accroche un poids à son extrémité inférieure, et si l'on vient enfin à mettre les deux extrémités en relation avec les pôles d'une PILE, on voit le muscle se contracter en soulevant le poids et prendre la forme A'B' (fig. 2). Réciproquement, si en prenant une extrémité du tube dans chaque main on le distend brusquement, on reçoit une DÉCHARGE.

Klunne a fait une expérience identique avec une cellule artificielle, qu'il formait en remplissant de protoplasma un intestin d'hydrophile. Mais dans ces deux expériences, qui montrent si bien le rôle de la tension superficielle dans les phénomènes de contraction cellulaire, c'est nous qui fournissons l'énergie nécessaire au moyen d'un COURANT ÉLECTRIQUE ou par une action mécanique. Avec la cellule, au contraire, les choses se passent comme si le tube de M. d'Arsonval était placé dans un liquide oxydant pouvant attaquer le mercure et traverser la paroi de caoutchouc par endosmose, et comme si nous étions libres de provoquer et de suspendre à volonté la réaction. Pour compléter l'analogie, il faudrait que cette réaction fût déterminée par l'action

de présence d'un corps, tel que la mousse de platine. Toutes les fois qu'on approcherait ce dernier corps le mercure serait attaqué, la nature des surfaces de contact serait altérée, la tension superficielle varierait et l'on observerait un changement de forme du globe. Cette action serait suspendue dès que l'on éloignerait la mousse de platine, et les produits de la réaction étant rapidement entraînés à l'extérieur par diffusion, les surfaces de contact reviendraient à leur premier état. Le globe reprendrait alors sa forme initiale, et la contraction cesserait. C'est ainsi que se

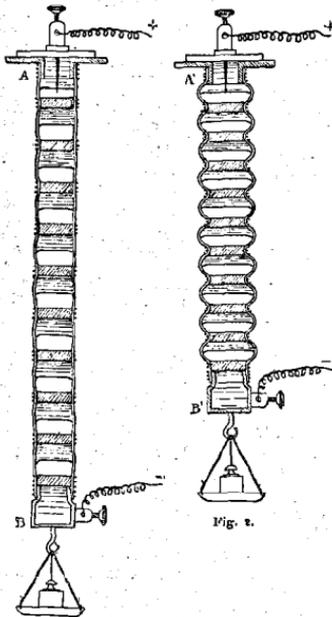


Fig. 1.

passent les choses dans la cellule : elle baigne dans un liquide renfermant de l'oxygène libre ou combiné (chez les animaux supérieurs, ce liquide est le sang qui renferme de l'oxygène combiné avec une substance spéciale, l'hémoglobine).

Une excitation quelconque (action purement mécanique, action d'un acide, action électrique, etc.), aura pour effet d'activer la décomposition de son protoplasma en matières non azotées et ferments solubles.

Mais ces derniers agissent immédiatement par leur présence sur le noyau intérieur et déterminent la combustion de ces substances, aux dépens de l'oxygène du milieu ambiant.

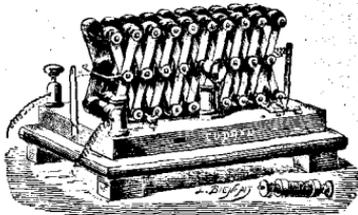
Nous avons donc altération des surfaces de contact, occasionnée par l'action chimique, variation de tension superficielle, et, par suite, déformation de la cellule.

Si l'excitation extérieure vient à cesser, les ferments sont entraînés ou servent à la reconstitution du pro-

toplasma ; les produits de la réaction s'éliminent aussi par diffusion et la cellule reprend sa forme primitive.

Nous voyons alors que l'énergie nécessaire aux mouvements de la cellule est due à l'oxydation d'une partie de la substance du noyau.

MUSCLE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE. — Appareil électrique à l'aide duquel M. Trouvé a eu l'intention de représenter le mode de contraction musculaire. Cet inventeur assimile les cellules actives du tissu musculaire à de petits ÉLECTRO-AIMANTS s'attirant par leurs pôles contraires. L'effort exercé par deux électro-aimants multiplié par le carré de la section des pôles donne l'idée du travail produit par le système et l'amplitude du mouvement, mais est insuffisant pour rendre compte des effets considérables observés sur



Muscle électro-magnétique. (Trouvé.)

le muscle. M. Trouvé a donc pensé qu'il fallait totaliser les efforts individuels des électros, et il a construit un appareil qui se compose de vingt-huit électro-aimants droits, dont on voit un spécimen au bas de la figure. Ces électro-aimants sont montés sur des parallélogrammes articulés analogues aux jouets d'enfants appelés grenouillettes, et le tout est équilibré entre deux supports à pointe. Deux lames de ressort, une de chaque côté, maintiennent par leur élasticité les électro-aimants à quelques millimètres les uns des autres : ils sont montés en dérivation pour réduire le nombre des couples à employer. Si, après avoir relié la pile aux bornes de l'appareil, on presse sur le bouton d'ivoire situé à gauche de la planchette, le système se raccourcit violemment, et les électro-aimants se maintiennent au contact tant que le courant passe. Quand le courant cesse, les deux lames élastiques ramènent le système à sa première position. En envoyant des courants successifs de courte durée, le système se contracte et se distend avec la rapidité des fermetures et ouvertures du circuit. Les effets sont encore plus accentués si l'on fait fonctionner le commutateur revenant au situé à droite de la planchette. Les contractions et les distensions se font alors si rapidement que l'on ne peut plus constater autre chose que l'état vibratoire du système. Sans préjuger de la forme du muscle et sans prétendre en rappeler tous les effets, cet appareil en explique presque toutes les propriétés et permet de formuler la théorie suivante : « La puissance d'un muscle est la résultante de toutes les attractions moléculaires. » Ce petit appareil explique d'une façon très satisfaisante la contraction totale d'un muscle par l'électrisation localisée (méthode de Duchenne, de Boulogne) sans avoir recours à des actions réflexes ou à la propagation de l'ébranlement moléculaire ; il permet encore d'expliquer la persistance de la contraction motrice dans ses effets par la persistance du magné-

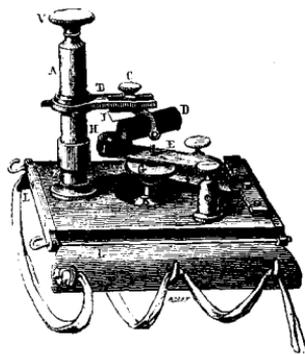
15188. « (Extrait d'une communication du D^r Onimus à la Société de Biologie.) »

Muschenbroek (Pierre van), célèbre physicien hollandais, né à Leyde en 1692, mort dans la même ville en 1761. Il étudia la philosophie, les mathématiques et la médecine à l'université de sa ville natale, où se trouvaient alors d'éminents professeurs, tels que Gronovius, Le Clerc, S'Gravesande, Boerhaave, se fit recevoir docteur en médecine en 1715, et se rendit, deux ans plus tard, à Londres, où il prit des leçons de Newton, dont il adopta avec ardeur les idées. De retour en Allemagne, il prit le diplôme de docteur en philosophie (1719), fut nommé par le roi de Prusse professeur de philosophie et de mathématiques à Duisbourg-sur-le-Rhin, s'adonna à partir de ce moment d'une façon toute particulière à la philosophie expérimentale, qui lui doit de nombreuses découvertes, et acquit bientôt une réputation qui lui valut d'être appelé, en 1723, à enseigner les mêmes sciences à l'université d'Utrecht. Pendant dix-sept ans il habita cette ville, et ce fut là qu'il composa ses ouvrages les plus importants. Sa célébrité devint telle alors, que le roi de Danemark, le roi d'Angleterre et le roi d'Espagne lui firent les offres pécuniaires et honorifiques les plus brillantes pour l'attirer dans leurs États; mais Muschenbroek refusa de quitter la Hollande, joignit, à partir de 1732, à son enseignement ordinaire celui de l'astronomie, et retourna, en 1739, dans sa ville natale pour y occuper une chaire de philosophie. Ce remarquable savant était membre des Académies des Sciences de Paris, de Saint-Petersbourg, de Berlin, de Montpellier, de la Société royale de Londres, etc. « Ses mœurs étaient simples, pures et sans tache, dit Savérien. Il était enjoué et très aimable dans la conversation et possédait toutes les qualités qui forment le véritable philosophe. » Comme savant, il a contribué à la rénovation de la physique expérimentale et à l'introduction du newtonianisme en Hollande. « On trouve dans ses ouvrages, dit Condorcet, une longue suite d'expériences bien faites et dont les résultats ont été calculés avec précision; un grand nombre de faits bien vus et décrits avec exactitude, plusieurs appareils d'expérience, ou inventés ou perfectionnés par lui, et surtout une excellente méthode de philosopher. Lorsque ses recherches ne conduisent point à des résultats généraux, il se contente d'exposer ses expériences toutes nues et ne donne jamais des systèmes pour des vérités. Il y a cependant un reproche à lui faire, c'est d'avoir adopté quelquefois, dans ses explications, les principes obscurs et vagues de cette physique qu'avaient créée, dans les derniers siècles, les partisans de la philosophie corpusculaire. Leyde était rempli de physiciens qu'il avait formés. C'est dans cette école d'observateurs de la nature que fut découvert le fait singulier de la convection électrique, si connu sous le nom d'*expérience de Leyde* (v. BOUILLIÉ), et qui a conduit à la connaissance de la nature du rayonnement et aux moyens d'en détourner ou d'en imiter les effets. » Enfin, on doit à Muschenbroek la découverte de la loi de la réfraction de la lumière, l'invention du premier prométhée connu, des travaux considérables sur la cohérence des corps, et il a porté la connaissance de l'aimant plus loin qu'on ne l'avait fait avant lui. Ses principaux ouvrages

sont : *De certa methodo philosophiæ experimentalis* (1723); *Eptiome elementorum physico-mathematicorum in usus academicos* (Leyde, 1725), traité fort estimé, plusieurs fois réimprimé sous le titre de : *Introduction ad philosophiam naturalem* (Leyde, 1763), 2 vol. in-4°, et deux fois traduit en français sous les titres d'*Essai de Physique* (1730) et de *Cours de Physique* (1769); *Physicæ experimentales et Geometricæ de magnetis tuborum capillarum vitreorumque speculorum attractione, magnitudine terræ, coherencia corporum firmorum* (Leyde, 1729, in-4°), recueil d'excellents travaux; *Tentamina experimentorum naturalium in Academia del Cimento ex Italico sermone in latinum conversa* (Leyde, 1731, in-4°); *Institutiones logicæ præcipue comprehendentes artem argumentandi* (Leyde, 1743, in-8°).

MYOGAPHE (du grec *méon*, muscle; *graphé*, j'écris). — Appareil enregistreur des mouvements musculaires imaginé par le Dr Marey, et dans lequel, pour diminuer le frottement, le stylet enregistreur ne touche pas le papier d'une manière continue, mais seulement par intermittences très rapprochées, ces intermittences étant produites par l'action d'un ÉLECTRO-AIMANT. (Rapports du Jury, Exposition de 1881.)

MYOPHONE (du grec *méon*, muscle; *phôné*, bruit). — Instrument imaginé par le Dr Boudet de Paris, pour entendre et étudier les bruits musculaires. Cet appareil est une sorte de MICROPHONE com-



Myophone. (Geiff.)

posé de deux charbons, dont l'un II est monté sur une lige à piston K destinée à s'appliquer sur le muscle à étudier, et dont l'autre, D, est porté par une potence A dont on peut régler la hauteur à l'aide d'une vis micrométrique V. Le charbon D est légèrement pressé sur le charbon H par un ressort en papier I. Ce microphone se monte dans le circuit d'une pile et d'un TELEPHONE.

Nairne (Edward), médecin et physicien anglais, né à Loudres, mort dans la même ville en 1806. Membre de la Société royale depuis 1776, il fut célèbre un moment lorsque, en 1777, après l'explosion de la poudrière de Purfleet, causée par la foudre en dépit d'un PARATONNERRE placé sur l'édifice, la querelle se révéilla entre les partisans des paratonnerres à pointe et ceux des paratonnerres à boule. Wilson ayant décidé le roi George III à faire remplacer tous les paratonnerres à pointe par des paratonnerres à boule, Nairne démontra, l'un des premiers, la supériorité des paratonnerres à pointe; il prouva que l'accident de Purfleet était dû à l'insuffisance de la hauteur de la tige, et qu'il fallait multiplier le nombre des paratonnerres suivant l'étendue des surfaces à protéger. On doit à Nairne la première MACHINE électrique permettant de recueillir les deux électricités, machine aujourd'hui à peu près oubliée.

Parmi ses ouvrages, nous citerons seulement : *Expériences d'électricité* (1774); *Expériences d'électricité faites dans le but de montrer l'avantage des conducteurs pointus* (1783); *Description et usage de sa machine électrique brevetée* (Londres, 1787).

NAVIGATION ÉLECTRIQUE. — Expression vague et peu correcte, qui tend à passer dans le langage courant, pour désigner la substitution des MOTEURS ÉLECTRIQUES aux moteurs à vapeur ou autres, pour faire marcher les embarcations.

Le premier essai de navigation électrique fut réalisé en 1838 sur la Néva, par Jacobi, au moyen d'un moteur de son invention, qu'il actionna d'abord par des PILES Daniell, puis par des piles Grove. Les résultats furent décourageants, au double point de vue de la dépense et du rendement. Aussi Jacobi abandonna-t-il ses expériences.

D'autres tentatives furent faites en 1866, sur le lac du bois de Boulogne, à Paris, par M. de Molins; mais elles furent infructueuses aussi (v. les *Applications de l'électricité*, par Théodore Du Moncel).

Les premiers résultats intéressants n'ont été obtenus qu'en 1881, par M. Trouvé, sur la Seine, avec un canot que l'on a pu voir à l'EXPOSITION d'électricité de Paris.

Le BATEAU, de 5^m,50 de long sur 1^m,20 de large, pouvait recevoir trois personnes. L'hélice était mise en mouvement, au moyen d'une chaîne Galle ou Vaucaanson, par un moteur à bobine Siemens à double T, que M. Trouvé avait modifiée en excentrant les joues en forme de Hmaçon, ce qui évitait pratiquement le point mort. Le courant était fourni par deux piles à trouit au bichromate de potasse, pesant ensemble 24 kilogrammes. On remontait le courant à la vitesse de 1^m,50 par seconde, soit 8.400 mètres à l'heure; à la descente on atteignait environ 9.000 mètres à l'heure.

Pour obtenir un meilleur rendement, M. Trouvé s'est ensuite servi d'une DYNAMO genre Gramme, dans

laquelle il s'est appliqué à rendre le CHAMP MAGNÉTIQUE très intense, et à réduire autant que possible l'espace entre l'INDUCTEUR et l'INDUIT. Les résultats sont remarquables : un moteur pesant 8 kilogrammes peut, avec un COURANT convenable, développer un demi-cheval vapeur; le moteur d'un cheval ne pèse que 15 kilogrammes. D'après une série d'expériences faites par M. d'Arsonval, le rendement a été de 50 à 65 % pour un nombre de couples variant de 24 à 48, avec des vitesses moyennes de 2.500 tours par minute.

Les fig. 4 et 2 (page 575) donnent une vue du bateau électrique de M. Trouvé, du moteur et du commutateur de changement de marche.

En septembre 1882, on essaya sur la Tamise une embarcation appelée *Electricity*; tout en fer, elle mesurait 7^m,62 sur 1^m,32, avait un tirant d'eau de 0^m,52 à l'avant et de 0^m,75 à l'arrière, et pouvait contenir au maximum 12 personnes. L'appareil moteur se composait de deux dynamos qui faisaient tourner l'arbre de l'hélice au moyen de courroies. Un COMMUTATEUR spécial permettait d'augmenter ou de diminuer à volonté le nombre des couples en action; le changement du marche s'obtenait par l'emploi de deux paires de BALAIS, dont l'une servait pour la marche en avant et l'autre pour la marche en arrière. 45 ACCUMULATEURS Sellon-Wolekmar, pesant 816 kilogrammes, placés dans le fond de l'embarcation, formaient à la fois le lest et la source d'électricité. Lors des expériences il n'y avait que quatre personnes dans le bateau, qui atteignit une vitesse de 14.480 mètres à l'heure en descendant le courant, et de 12 à 13.000 en remontant.

À Vienne, pendant l'Exposition d'électricité de 1883, on a pu voir sur le Danube une embarcation de 12 mètres sur 1^m,80, portant une dynamo Siemens et 30 accumulateurs Faure-Sellon-Wolekmar. Le poids total (moteur, accumulateurs et coque) était d'environ 5.000 kilogrammes. 40 personnes pouvaient prendre place dans ce bateau; s'il avait été pourvu d'un moteur à vapeur, il n'aurait pu recevoir que 22 personnes, mais il aurait pu marcher 15 ou 16 heures, tandis que les accumulateurs avaient épuisé leur charge après 7 heures de fonctionnement.

Nous ne pouvons énumérer toutes les expériences réalisées depuis. Nous citerons cependant la traversée de la Manche, aller et retour, par le bateau *Volta*, en septembre 1886. La coque, entièrement en tôle d'acier, avait 11^m,20 sur 2 mètres; le propulseur était une hélice à trois branches de 0^m,60 de diamètre et de 0^m,275 de pas, commandée par un moteur double du système Reckenzann, disposé pour tourner à trois vitesses différentes : petite vitesse, les deux moteurs couplés en série; moyenne vitesse, un seul moteur employé; grande vitesse, les deux moteurs couplés en dérivation. Un commutateur spécial permettait de passer facilement d'une vitesse à l'autre : à grande vitesse, l'hélice tournait à 1.000 tours par minute, et la force était de 16 chevaux. Chaque moteur avait

1^m,45 de long, 0^m,52 de large et 0^m,33 de haut; ils pesaient ensemble 330 kilogrammes. Les accumulateurs, du modèle Electrical Power Storage Co, étaient au nombre de 61 et pesaient environ 2 tonnes. La traversée a duré 3 heures 51 de Douvres à Calais, et 4 heures 15 au retour. L'intensité du courant était de 28 AMPÈRES au départ de Douvres, et n'avait pas varié à l'arrivée à Calais. Elle était encore de 28 ampères au départ de Calais, après 2 heures 28 minutes de repos; une heure plus tard, elle était descendue à 26 ampères et à 25 au moment de la rentrée à Douvres.

Mentionnons encore le yacht *Northumbria*, appartenant au duc de Beaufort, dont la vitesse peut s'élever

à 16 kilomètres à l'heure, et une chaloupe dont la vitesse normale est de 13 600 mètres à l'heure, fournie au gouvernement italien par M. Yarow, pour le service des torpilles à La Spezia.

L'emploi des moteurs électriques pour la propulsion des navires de petites dimensions présente un intérêt tout particulier dans les cas des torpilleurs, attendu que l'on évite le bruit et la fumée qui dérobent la marche de ces bateaux. De nombreux essais ont été tentés dans cette voie; voici le compte rendu de quelques-uns d'entre eux, par ordre chronologique:

M. Goubet aîné, ingénieur à Paris, a construit des bateaux torpilleurs sous-marins adoptés depuis 1881

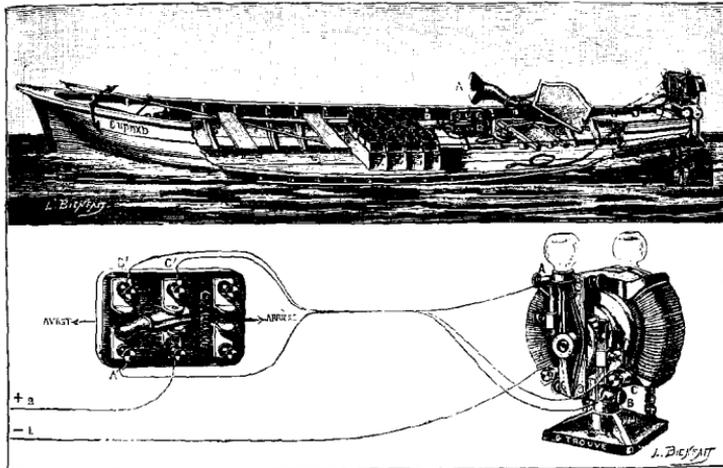


Fig. 1 et 2. — Bateau électrique de M. Trouvé.

par la marine russe et perfectionnés depuis par leur inventeur, en ce sens qu'il a substitué notamment à la force musculaire de l'équipage employée primitivement une force mécanique fournie par un moteur électrique.

Le but de M. Goubet étant de mettre son bateau sous-marin à bord des navires de guerre, et non de lui confier des missions indépendantes à grande distance des côtes, il en a réduit les dimensions au strict nécessaire, ainsi que celles du moteur électrique.

L'équipage ne comporte que deux hommes; la coque, ovoïde, a 5 mètres de long, 1 mètre de large et 1^m,78 de hauteur médiane. Le moteur électrique est calé pour donner au bateau immergé une vitesse de 5 nœuds à l'heure, ce qui correspond à une force motrice de 42 kilogrammètres. Il comprend 36 accumulateurs, dont 6 de réserve, ayant 0^m,30×0^m,30×0^m,48, soit un volume total d'environ un demi-mètre cube.

La réceptrice est une dynamo Siemens du type appliquée aux TRAMWAYS, pesant 180 ou 200 kilogrammes, et marchant avec un courant de 48 volts et de 8,8 AMPÈRES. Dans ces conditions, le bateau se suffit à lui-même pendant dix à douze heures

Il pourrait, d'ailleurs, en cas d'explorations sous-marines, être actionné pendant l'immersion, par le moteur du navire auquel il serait attaché, au moyen d'une transmission à distance.

L'appareil propulseur consiste en une hélice *mobile* qui peut prendre, au moyen de dispositifs spéciaux, une direction oblique dans tous les sens, par rapport à l'axe du navire, sans que son mouvement de rotation continue soit altéré.

Installée à l'arrière de la coque, la TORPILLE est maintenue en position par un déclat, manœuvré de l'intérieur du bateau. Le fil transmetteur, enroulé sur un tambour extérieur, est relié au commutateur placé sous la main de l'officier. Le volume de la torpille varie suivant qu'elle doit se diriger vers la surface (attaque d'un navire) ou descendre au fond (attaque d'un mur fortifié). À l'avant, un sécateur, qui, au moyen d'un levier, sortit du bateau sur une longueur de 3 mètres, sert à couper les fils des torpilles de défense; il est éclairé par une lampe à INCANDESCENCE qui permet également, en connexion avec une mire, d'assurer la direction du bateau. Quand on veut aller poser la torpille sous un na-

vire, le matelot met en marche la ligne de flottaison. Après avoir pris la direction au moyen de la mire et d'une anoussure, l'officier détermine l'immersion à la profondeur convenable et se dirige ensuite vers le but à atteindre. Arrivé sous le navire ennemi, qu'il peut apercevoir par un regard pratiqué à la partie supérieure du bateau sous-marin, il s'en rapproche verticalement, puis il fait lâcher la torpille, qui monte en vertu de sa force ascensionnelle, et vient s'appliquer sous la coque au moyen de griffes disposées en couronne. Le bateau fait ensuite marche arrière; le fil enroulé sur le tambour se déroule et indique en même temps la distance parcourue. Lorsqu'il la juge suffisante, l'officier détermine l'explosion. La manœuvre est à peu près analogue quand il s'agit de placer une torpille contre un mur fortifié; mais alors son volume est assez réduit pour qu'elle tombe au fond. L'équipage peut se maintenir en communication avec le navire principal, soit au moyen d'un fil télégraphique, soit au moyen de fusées-sigaux.

Parmi les applications que peut trouver le bateau sous-marin de M. Goubet, nous citerons la destruction des épaves par explosion. (*Annales industrielles*.)

En 1881, un Américain, le professeur Tuck, a construit un bateau électrique sous-marin qui, à une certaine distance, présente l'aspect de deux larges bateaux à rames, juxtaposés ouverture contre ouverture. La carcarasse, en fer, à 9 mètres de longueur et déplacé 20 tonnes. Il est muni de trois gouvernails: l'un vertical à l'arrière, les deux autres horizontaux et placés sur les côtés. Ceux-ci sont disposés pour permettre des mouvements de montée et de descente. On peut aussi changer de niveau à l'aide de réservoirs dans lesquels on pompe de l'eau pour descendre et de l'air pour s'élever. Le propulseur à hélice est actionné par un moteur alimenté par des accumulateurs. L'intérieur est éclairé par des lampes à incandescence. Le bateau peut recevoir deux torpilles, l'une à l'avant et l'autre à l'arrière; elles sont maintenues en place dans des gaines de fer à l'aide d'électro-aimants qui les laissent partir quand le courant est interrompu.

Un ingénieur de Stettin a fait, en 1883, des essais avec des torpilleurs dans lesquels l'électricité sert de force motrice, manœuvre le gouvernail et produit l'explosion au moment voulu. Le torpilleur, qui a la forme ordinaire des appareils de ce genre, porte à sa partie postérieure une dynamo qui actionne l'hélice et une disposition électro-magnétique qui commande le gouvernail. Le courant est amené au torpilleur par un câble à cinq fils bien isolés l'un de l'autre. Deux de ces fils aboutissent à la dynamo, deux autres au mécanisme qui commande le gouvernail, le cinquième sert à enflammer la charge. Le mouvement du gouvernail dans un sens ou dans l'autre est obtenu par des courants de sens différents; l'explosion ne peut être produite qu'à l'aide de courants alternatifs, de sorte qu'aucune explosion ne pourrait se faire, même si les différents fils venaient au contact.

La charge du câble que le torpilleur doit porter limite nécessairement la distance à laquelle on peut le lancer: on n'a pas dépassé 800 mètres jusqu'à présent. Il est difficile de dire quelle importance ces essais peuvent avoir pour la marine de guerre, la distance à laquelle on peut lancer l'appareil étant encore trop faible. Toutefois on espère arriver à des résultats plus pratiques, et pour le moment le torpilleur électrique que l'on peut manœuvrer à pareille distance de toutes les façons possibles est pour le moins un appareil intéressant au point de vue de sa construction. (*La Nature*, 1^{er} août 1885.)

En résumé, la navigation électrique a encore besoin d'être perfectionnée pour devenir réellement pra-

tique. Il est certain que l'on a accompli de sérieux progrès pour les moteurs, puisqu'on est parvenu à en construire qui donnent, comme rendement industriel, de 80 à 90 % de l'énergie électrique qui leur est fournie; mais, comme source d'électricité, il reste beaucoup à faire: d'une part, les piles primaires sont plus légères que les accumulateurs, mais l'électricité qu'elles fournissent revient trop cher; d'autre part, les accumulateurs sont très lourds pour une quantité donnée d'énergie emmagasinée; ainsi, il faut en général de 120 à 130 kilogrammes d'accumulateurs pour un cheval-heure, ce qui ne permet pas une navigation prolongée. Il en résulte que, jusqu'à présent, la navigation électrique est forcément limitée aux bateaux de plaisance ou à des applications spéciales, telles que les bateaux torpilleurs, sous-marins, etc. Mais il est probable qu'elle prendra prochainement une plus large extension, parce que les inventions se perfectionnent.

Ainsi, en septembre 1887, pendant la distribution des récompenses de l'Exposition maritime du Havre, un canot du service de la marine de l'État français, construit par la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, a été armé de la manière suivante:

La chaudière et le moteur à vapeur ont été remplacés, poids total pour poids total, par un moteur électrique puissant et léger, dû à M. le capitaine Krebs, et une batterie de 132 accumulateurs système Commelin et Desmazures. Ce canot a 8^m,85 de longueur entre perpendiculaires et 2^m,80 de largeur au maître bau, et jauge environ 5 tonneaux; la coque a des formes lourdes et un avant un peu rond qui lui permettent de se bien comporter à la mer, mais lui retirent une partie notable de sa vitesse.

Les accumulateurs, d'un poids total de 2.376 kilogrammes, sont au nombre de 132, en trois séries de 44, dont chacune est renfermée dans une boîte; un commutateur spécial permet de les coupler de manière à obtenir à volonté quatre allures différentes; d'après les inventeurs, la puissance serait de 12 chevaux avec une énergie totale emmagasinée d'environ 100 chevaux-heure. Suivant ces données, ces accumulateurs, que l'on prétend inusables, seraient jusqu'à présent les plus légers sous le rapport de l'énergie disponible par unité de poids.

Au Havre, l'embarcation a filé 6 nœuds à l'heure pendant environ six heures, et a fonctionné le lendemain pendant trois heures à des vitesses réduites.

La réussite de ces expériences a engagé M. Zédé, ingénieur des constructions navales, à donner suite à l'ancien projet de Dupuy de Lôme pour la construction d'un bateau sous-marin mû par l'électricité. Ce bateau ou torpilleur, qui n'est pas terminé, aura 20 mètres de longueur, 1^m,80 de diamètre et jaugera environ 30 tonneaux; M. Zédé pense qu'il pourra soutenir une vitesse de 11 nœuds (20,372 kilomètres) à l'heure pendant cinq heures à l'aide des accumulateurs Commelin et Desmazures. Bien que ces inventeurs n'aient pas publié leur procédé de fabrication et la composition des corps et des réactifs employés, M. Emile Reynier, en consultant les brevets pris en France, a pu recueillir des données assez précises et les compléter par des expériences d'où il a tiré de faciles déductions: il a donné dans *l'Électricien* des renseignements que nous résumons:

L'accumulateur de MM. Commelin et Desmazures a pour lames négatives des feuilles de tôle étamée; les lames positives sont des plaques de cuivre poreux obtenues en comprimant du métal pulvérisé sous une pression de 600 à 1.200 atmosphères. Le liquide est une solution de zincate de soude ou de potasse additionnée de chlorate de soude.

Neef (Christian-Ernst), médecin allemand, né à Francfort-sur-le-Main le 23 août 1783, mort dans cette ville le 15 juillet 1819; inventeur d'un interrupteur généralement appliqué aux BOUTES D'INDUCTION.

NÉGATIF, IVE. — *Electricité négative*, Électricité qui a été primitivement développée dans les corps résineux. — *Élement négatif d'une pile*, Celle des deux substances constitutives de la pile qui est attaquée chimiquement. — *Pôle négatif*, Pôle d'une pile par lequel se dégage l'électricité négative. — *État négatif*, État d'un corps dans lequel se manifeste seulement l'électricité négative. — *Electro-négatif* ou simplement *négatif*, Se dit des corps qui, dans une décomposition électrolytique, se rendent au pôle positif de la pile.

NEUTRE. — Se dit des corps qui ne présentent aucun phénomène électrique. — *Ligne neutre*, Ligne qui, dans un corps dont les fluides électriques ou magnétiques occupent les pôles, ne présente aucun phénomène d'électricité ou de magnétisme.

Naudet (Alfred), électricien français, mort à Paris le 7 octobre 1883. Il fut longtemps attaché à la maison de son oncle Bréguet, puis devint administrateur de la Société générale des TÉLÉPHONES, de la Compagnie Électrique et de la Société d'Éclairage électrique. En 1870, il organisa le service télégraphique de l'armée du Rhin; enfermé dans Metz, il créa un système de communications aériennes. Étant parvenu à s'échapper, il se rendit à Tours pour se mettre à la disposition du gouvernement de la Défense nationale.

Il inventa la *PILE* qui porte son nom, et dont le dépolarisant est l'hyposulfite de chaux; cette pile est assez constante; mais l'usage s'en est peu répandu, à cause du dégagement de chlore.

Outre de nombreux articles dans des publications scientifiques et différents mémoires sur les MACHINES dynamo-électriques, il a laissé trois ouvrages de valeur: *Machines électriques à courants continus* (Paris, 1876; 2^e éd., 1881); *TELEPHONES et MICROPHONES* (1878); *Traité élémentaire de la Pile électrique* (3^e édition, revue par M. H. Pontaine, et suivie d'une notice sur les ACCUMULATEURS, par M. E. Hospitalier, Paris, 1885).

Nicholson (William), chimiste et physicien anglais, né à Londres en 1753, mort en 1815. Il embrassa d'abord la carrière commerciale; mais il la quitta bientôt pour se livrer à l'étude des sciences, et ouvrit à Londres, en 1775, une école qu'il dirigea d'abord avec succès. On lui doit le plan des beaux travaux hydrauliques de Middlesex, et l'invention de l'aréomètre qui porte son nom; cet instrument, surmonté d'une cornue comme celui de Fahrenheit, est manié, en outre, à sa partie inférieure, d'un petit panier en fils métalliques où l'on peut placer un fragment de corps solide pour le peser plongé dans l'eau; ainsi peut-il servir également pour la détermination des densités des solides et des liquides. Il reconnut l'action chimique qui s'exerce dans la pile de Volta, et il vulgarisa dans sa patrie la chimie française en traduisant Fourcroy et Chaplat. Malheureusement, ses nombreuses inventions mécaniques et la publication de ses écrits le ruinèrent, et il fut mis en prison pour dettes. Parmi les ouvrages de Nicholson, on remarque les suivants, traduits en français: *Description des machines à vapeur, ou Détail des principaux changements qu'elles ont éprouvés depuis l'époque de leur invention* (1826, in-8°); *le Méca-*

nisme anglais, ou Description raisonnée de toutes les machines, mécaniques, découvertes nouvelles, inventions et perfectionnements appliqués jusqu'à ce jour aux manufactures et aux arts industriels (1826, à vol. in-8°). Il avait donné auparavant: *Introduction à la Philosophie naturelle et expérimentale* (1781); *Premiers principes de Chimie* (1789); *Dictionnaire de Chimie* (1795); *Journal de Philosophie naturelle, de Chimie et des Arts* (1797-1800).

NICKELAGE galvanique. — Opération consistant à recouvrir d'une couche mince ou épaisse de nickel des objets métalliques. (V. GALVANOPLASTIE.)

Depuis quelques années on a trouvé fort avantageux de nickeler les rouleaux gravés d'impression; on obtient ainsi une surface unie et plus dure que ne le donne le cuivre ou le laiton et, par suite, une usure moindre de la gravure; on évite aussi le *fadeage*, cet accident bien connu des imprimeurs en taille-douce. Cette innovation est due à MM. Boudreaux, Christophle et Lionnet. Voici quelques renseignements intéressants communiqués à ce sujet par M. A. Lalancé à la Société industrielle de Mulhouse:

« Les rouleaux sont gravés comme d'habitude et peuvent être nickelés soit au sortir de la gravure, soit après avoir déjà imprimé; mais dans les deux cas un nettoyage parfait est de rigueur. On emploie pour cela de la térébenthine, des acides étendus et de la potasse chaude. Ces opérations tendent à être faites avec le plus grand soin; la réussite en dépend. En dernier lieu, on nettoie la surface avec du cyanure de potassium à 10°; mais, vu le danger que présente ce produit, il est nécessaire de prendre de grandes précautions pour le manipuler. Il est essentiel, pendant ces divers nettoyages, d'empêcher que des parties de métal viennent à sécher, car le nickel ne prendrait pas à ces endroits. Un moule roulant facilite les transports d'un bain à l'autre. Après avoir bien lavé à l'eau froide, on amène le rouleau dans le bain, mais en ayant soin d'opérer promptement et de ne pas toucher le métal avec la main. Le bain est contenu dans une cuve en bois doublée de plomb, ayant 1^m,35 de long, 0^m,61 de large et 0^m,88 de haut. Il est composé de 680 litres d'eau, dans lesquels on a fait dissoudre 37 kilogrammes de sulfate double de nickel et d'ammoniaque, ainsi que 2 kilogrammes de sel de cuisine servant d'excitateur. Le bain marque de 5° à 8° Baumé.

« On se sert comme ANODES de plaques de nickel laminées, suspendues à égale distance et en lignes parallèles au rouleau à nickeler. Il est bon de faire remarquer que les bains neufs ne fonctionnent jamais bien. Ils ont besoin d'être électrolysés, c'est-à-dire traversés pendant quelque temps par le courant électrique, pour donner un dépôt satisfaisant. Il importe d'éviter que le bain soit alcalin, car dans ce cas le dépôt est noir, quelle que soit la force du courant. Dans les bains trop acides, au contraire, le dépôt prend un aspect cristallin et manque de solidité. Il faut, pour un bon fonctionnement, un bain un peu acide, c'est-à-dire rougissant légèrement le papier de tournesol. Le courant est donné par une MACHINE dynamo disposée spécialement pour courants à faible tension. On admet 1 AMPÈRE par décimètre carré de surface à nickeler, ce qui donne environ 30 ampères pour les rouleaux de dimensions ordinaires.

« Pendant toute l'opération le rouleau est mis en mouvement et une brosse frotte sur la surface pour la maintenir propre et enlever les bulles d'hydrogène qui se déposent sur le métal.

« Il est bon, pour conduire la DYNAMO, d'avoir un

peut moteur spécial, afin de pouvoir régler la vitesse sur la quantité d'électricité nécessaire et aussi pour avoir une installation indépendante des arrêts de la transmission. En effet, une fois l'opération commencée, il est impossible de l'interrompre, sans que la couche de nickel se détache. Il faut environ une heure et demie de marche non interrompue pour recouvrir un rouleau d'une couche suffisante. La température du bain n'a pas grande influence sur le résultat, à condition de rester dans des limites raisonnables. Deux hommes peuvent nickeler de quatre à cinq rouleaux par jour.

« En comptant l'amortissement, on peut admettre que cette opération revient de 8 à 10 francs par rouleau. Cette dépense est largement compensée par la plus grande durée des gravures. Cependant on ne peut encore se prononcer sur ce point que par ailleurs, l'installation de Pfaffstätt étant trop récente pour qu'on puisse avoir des données sur la durée comparative des gravures nickelées ou non. En Angleterre, les imprimeurs qui font nickeler leurs rouleaux payent 18 fr. 75, et disent y trouver avantage. »

Formule d'un bain de nickelage. —

M. J. Arène, consul de France, a signalé récemment une formule de nickelage, essayée actuellement dans plusieurs ateliers du Hainaut, qui permet de déposer avec adhérence, en peu de temps et sous un courant électrique relativement faible, une forte épaisseur de nickel sur tous les métaux.

Composition du bain :

Sulfate de nickel pur	1 kilogr.
Tartrate d'ammoniaque neutre....	0,725
Acide tannique à l'éther.....	0,605
Eau	20 litres

Le tartrate neutre d'ammoniaque s'obtient en saturant une dissolution d'acide tartrique par de l'ammoniaque; de même le sulfate de nickel doit être neutralisé exactement. Dans ces conditions, on fait dissoudre le tout dans 3 ou 4 litres d'eau et on fait bouillir pendant un quart d'heure environ; on ajoute ensuite le complément d'eau pour faire 20 litres et on filtre ou on décante. Ce bain se remonte indéfiniment, en y ajoutant les mêmes produits, dans les mêmes proportions.

Le dépôt obtenu est très blanc, doux, homogène, et, quoique pouvant donner une très forte épaisseur, il ne laisse pas de rugosités à la surface, et n'écaille pas si les pièces ont été bien décapées.

On a obtenu par ce procédé de forts dépôts de nickel sur fonte brute ou prolicé, à un prix de revient ne dépassant guère celui du cuivrage.

Cette formule peut de même être employée pour la reproduction galvanoplastique de nickel. (*Revue industrielle.*)

NICKELINE. — Alliage de nickel, composé par M. H. Kirchhoff pour remplacer le mallechort dans la fabrication des bobines de résistance. Sa résistance spécifique est de 41,17 microhms avec un coefficient de température de 0,0028, inférieur à celui du mallechort, lequel est de 0,0044.

NICKELURE. — Synonyme de NICKELAGE. Plus souvent, Résultat obtenu par le nickelage.

Nicklés (François-Joseph-Jérôme), chimiste français, né dans le Bas-Rhin en 1821, mort à Nancy en 1869. Dixième enfant d'une modeste et honorable famille à laquelle la fortune n'avait pas prodigué ses faveurs, le jeune Nicklés fut dans l'impossibilité de

suivre en temps utile un cours régulier d'enseignement secondaire. Sous la direction d'un frère aîné, il étudia les sciences chimiques et pharmaceutiques, et commença, quoiqu'il fût tard, à se livrer aux études classiques imposées par l'épreuve du baccalauréat es lettres. Muni enfin du premier diplôme, qui était alors le point de départ de tous les autres, il se fit bientôt recevoir pharmacien de 1^{re} classe. Mais, voulant poursuivre des études vers lesquelles l'entraînait une véritable passion, il se rendit à Giessen pour y suivre l'enseignement du célèbre Liebig, puis à Paris, où il fut admis dans le laboratoire de Dumas. Après avoir obtenu, devant la Faculté des sciences de Paris, les grades de licencié et de docteur en sciences, il fut nommé, à trente-quatre ans, professeur de chimie à la Faculté des sciences de Nancy. Il mit dès lors à répandre la science l'ardeur et l'activité qu'il avait mises à l'acquiescer : recherches de laboratoire, cours pour les ouvriers, publications diverses, revue des travaux chimiques de l'Allemagne pour le *Journal de Pharmacie*, etc.

Reçu membre de l'Académie de Stanislas en 1855, décoré de la Légion d'honneur en 1862, Nicklés fut nommé, en janvier 1869, à la 1^{re} classe de son emploi et chargé, à Nancy, de la direction d'un laboratoire de recherches ressortissant à l'École des Hautes Études de Paris. Mais il ne put mener à fin tant de travaux commencés. On attribua sa mort à l'excès des fatigues et aussi à l'influence délétère des émanations du phosphore et du fluor, qu'il étudiait depuis plusieurs années.

Les travaux de Nicklés ont été l'objet de nombreux mémoires, qu'on trouve disséminés dans les diverses publications scientifiques de notre pays.

Nous nous bornerons à rappeler son livre : *Les ÉLECTRO-AIMANTS et l'adhérence magnétique*. Il avait créé toute une série de termes pour désigner des électro-aimants de différentes formes; mais la plupart des mots qu'il a imaginés dans ce but sont demeurés inusités.

NIGRITE. — Matière isolante composée de deux parties d'ozokérite pour une partie de caoutchouc. (V. ISOLANT.)

NIVEAU (Ligne de). — M. Guéthard a constaté qu'en plaçant une lame mince de métal dans une dissolution d'acétate de plomb et d'acétate de cuivre, en regard des deux extrémités libres de deux conducteurs reliés aux pôles d'une pile en activité, il se produisait sur cette plaque un double système d'ANNEAUX DE ROBILLI; que les formes très régulières de ces anneaux dépendaient des situations respectives des ÉLECTRODES et du contour de la surface conductrice; qu'en choisissant la forme des électrodes et la situation de la plaque on pouvait réaliser sur des portions finies de surfaces planes les divers cas d'écoulement stationnaire dont l'intégrale peut être calculée; et il a reconnu que le système des bandes colorées correspondait toujours exactement au système théorique des LIGNES ÉQUIPOTENTIELLES déterminées dans quelques cas par MM. Kirchhoff, Smaasen, Quinke et Auerbach. (*Lumière électrique*, t. II, 1880, p. 216.)

NIVEAU D'EAU ÉLECTRIQUE. — Appareil électrique imaginé par M. Robert Guérin pour indiquer le moment où le niveau de l'eau dans une chaudière à vapeur a atteint son minimum et où, par conséquent, il devient nécessaire d'alimenter la chaudière. Il se compose d'une tige de cuivre ISOLÉE plongée dans le tube de niveau d'eau et dont l'extrémité inférieure se trouve dans le plan au-dessous duquel l'eau

ne doit pas descendre dans la chaudière. Une sonnerie à grande résistance est disposée en dérivation sur les deux routes d'une pile reliées le premier à la bague métallique inférieure du tube de niveau d'eau, le deuxième à la tige de cuivre isolée. En temps normal l'eau ferme le circuit et une faible portion du courant passe dans la sonnerie; au contraire, lorsque l'extrémité de la tige de cuivre n'est plus en contact avec l'eau, ce qui arrive lorsque le niveau de celle-ci est descendu au-dessous du niveau minimum, la totalité du courant passe dans la sonnerie, qui se met à tinter.

NIVEAU POTENTIEL. — Différence existant entre le POTENTIEL d'un point et celui de la terre, considéré, par définition, comme égal à zéro.

Nobili (Léopold), physicien italien, né à Trassilica, près de Reggio (Italie), en 1784, mort à Florence le 5 août 1835. D'abord capitaine d'artillerie à Modène, à Brescia et à Reggio, il fut ensuite professeur de physique au musée du Grand-Duc, à Florence. Il perfectionna le GALVANOMÈTRE de Schweigger. Il a publié : *Questions sur le Magnétisme* (Modène, 1824); *Sur la lumière des AURORES BORÉALES imitée par une expérience électromagnétique* (bibliothèque universelle, t. XXV, 1824); *Sur un nouveau Galvanomètre* (*Ibid.*, t. XXIX, 1825), lequel est le galvanomètre à deux aiguilles (v. ASTATOÏDE); *Sur le magnétisme du cuivre et d'autres substances* (*Ibid.*, t. XXXI, 1826); *Sur une nouvelle classe de phénomènes électro-chimiques* [ANNEAUX de Nobili] (*Ibid.*, t. XXXIII, 1826 et XXXIV, 1827); *Sur les apparences et les mouvements électro-chimiques du mercure* (*Ibid.*, t. XXXV, 1827); *Sur la déformation des apparences électro-chimiques* (*Ibid.*, t. XXXVI, 1827); *Comparaison entre les deux galvanomètres les plus sensibles, la grenouille et le multiplicateur à deux aiguilles* (1828); *Sur les apparences électriques de Priestley*; *Sur la nature du circuit électrique*; *Notes diverses*; *Sur le magnétisme des fils du galvanomètre* (1828); *Sur l'identité des attractions moléculaires avec les attractions astronomiques* (Mém. de la société italienne, XX, 1828); *Analyse expérimentale et théorique des effets électro-physiologiques de la grenouille* (1830); *Description d'un THERMO-MULTIPLICATEUR ou thermoscope électrique*; *Mémoire sur les couleurs en général et en particulier sur une nouvelle échelle chromatique déduite de la MÉTALLOCHROMIE*, etc. (1836); *Sur la mesure des courants électriques, ou Projet d'un galvanomètre comparable* (1831); *Recherches sur plusieurs phénomènes calorifiques, entreprises au moyen du thermo-multiplicateur*, avec Melloni (1831); *Nouvelles Expériences électro-magnétiques* (1832); *Sur la FORCE ÉLECTRODYNAMIQUE du Magnétisme*, avec Antonori (Bibliothèque universelle, XLIX et LI, 1832); *Sur le Magnétisme* (*Ibid.*, LVI, 1834); *Nouvelles Observations sur les apparences électro-chimiques, les lois électro-dynamiques et le mécanisme intérieur de la PILE* (1834); *Description de deux nouvelles piles*

thermo-électriques et de la manière de s'en servir dans les recherches calorifiques (1834); *Expériences sur l'électricité animale; De la distribution et des effets des COURANTS électriques dans les masses conductrices* (1835).

NOBILI (Anneaux de). — (V. ANNEAU.)

Nollet (l'abbé Jean-Antoine), physicien français, né à Pimpré, près de Noyon, en 1700, mort à Paris en 1770. Il vint faire ses études à Paris, où il donna ensuite des leçons particulières et s'adonna à des expériences de physique. Il étudia en même temps la théologie et reçut le diaconat en 1728; mais il n'alla pas jusqu'à l'ordination et n'exerça jamais aucune fonction du sacerdoce quoiqu'il ait toujours conservé le titre et le costume d'abbé. Associé par Dufay à ses recherches sur l'électricité, il entreprit en 1734, avec ce dernier, un voyage scientifique et visita l'Angleterre et la Hollande. De retour à Paris, Nollet ouvrit un cours de physique fort suivi, et devint par la suite membre de l'Académie des Sciences. Ayant donné des leçons publiques à Versailles, il obtint la protection du Dauphin, qui le recommanda à un fonctionnaire. Celui-ci accueillit peu sympathiquement le physicien et lui dit, lorsqu'il lui présenta ses travaux : « Je ne lis guère ces sortes d'ouvrages. » A quoi Nollet répliqua : « Eh bien, monsieur, je vais les laisser dans votre antichambre; il s'y trouvera peut-être des gens d'esprit qui les liront. » Louis XV lui ayant confié une mission scientifique en Italie, Nollet rapporta de précieux documents, qu'il communiqua au corps savant dont il était un des membres les plus distingués. Une chaire de physique expérimentale fut créée pour lui au collège de Navarre; puis il devint professeur des princes pour la physique et l'histoire naturelle; il fut enfin chargé d'enseigner ces sciences aux écoles de La Fère et de Mézières. Outre de nombreux mémoires et des opuscules philosophiques, Nollet a fait paraître les ouvrages suivants : *Leçons de Physique expérimentale* (Paris, 1743 et années suiv., 6 vol. in-12), ouvrage plusieurs fois réimprimé; *Recherches sur les Causes particulières des phénomènes électriques* (Paris, 1749, in-12); *Essai sur l'Électricité du corps* (Paris, 1750, in-12); *Recueil de lettres sur l'Électricité* (Paris, 1753, 3 vol. in-12); *l'Art du Chapelier*, dans la « Description des arts de l'Académie des Sciences »; *Art des Expériences* (Paris, 1770, 3 vol. in-12).

Normant (Robert), fabricant d'instruments de précision. On lui attribue l'invention de la BOUSSOLE D'INCLINAISON. Il vivait vers 1576.

NOYAU d'une bobine ou d'un inducteur. — On désigne ainsi le cylindre de fer, la lame ou les fils de fer doux placés à l'intérieur des bobines d'induction, des inducteurs de machines dynamo-électriques, des transformateurs, etc. (V. ÉLECTRO-AIMANT.)

OBTURATEUR. — Obturateur photographique à déclenchement électrique, de M. Maudit (présenté à la Société française de Photographie). Le déclenchement (fig. 1) se trouve renfermé dans un petit cylindre de fer doux nickelé et se met sur l'objectif juste à la même place que le piston mû par la poire à air.

Le cylindre C, comme l'indique la coupe (fig. 2), n'est autre qu'un ÉLECTRO-AIMANT à armature concentrique exactement semblable à celui qu'a employé le

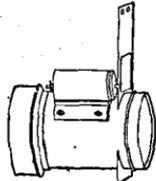


Fig. 1.

Dr d'Arsonval dans son téléphone. L'un des deux pôles se trouve, au bout du noyau du milieu, et l'autre occupe toute la circonférence; le couvercle supérieur A est neutre; le premier bout de fil est soudé au point a après le noyau N même de l'électro-aimant qui sert de bobine, et le second passe dans un trou O garni de gutta-percha et vient se fixer sous une borne également isolée. Lorsqu'on fait passer le courant, le ver doux s'aimante de la façon suivante :

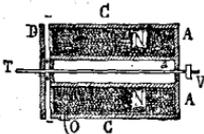


Fig. 2.

le noyau devient pôle + et l'armature extérieure devient pôle -. L'avantage de cet électro-aimant est de réunir sous un volume minimum le plus de puissance possible, car toute la surface du fer doux qui doit produire l'attraction subit l'influence maximum du magnétisme. Dans le noyau N de l'électro-aimant passe librement une tige T mobile en cuivre. L'une des extrémités de cette tige traverse le disque de fer doux D, et l'autre est munie d'une vis de réglage V, qui permet d'éloigner ou de rapprocher le disque du

CHAMP MAGNÉTIQUE. Lorsque l'aimantation se produit, le disque D est attiré, la tige de cuivre qui était engagé dans la dent de la lame d'acier se retire et l'obturateur se fait.

Comme générateur d'électricité, M. Maudit emploie la petite pile de poche au sulfate de M. Loissac. Sa force est de 4,5 volt, et sa durée de plusieurs jours est bien suffisante pour les opérations photographiques.

Obturateur électro-photographique (employé par M. Démarest, le 14 juin 1880, dans une ascension aérostatique faite à Rouen). — L'obturateur électrique se composait d'un disque en caoutchouc durci, percé de deux ouvertures circulaires placées sur un même diamètre et égales en grandeur à celle des lentilles de l'objectif. Ce disque était mis en rotation rapide par un mouvement d'horlogerie. Les déclenchements s'opéraient au moyen d'un courant électrique agissant sur deux électro-aimants Bourhouze, et obtenu à l'aide de deux petits couples à renversement au bisulfate de mercure de M. Trouvé. (*Année scientifique, 1881.*)

ODEUR ÉLECTRIQUE. — Odeur qui accompagne les DÉCHARGES et les ÉPLUVES ÉLECTRIQUES, et que l'on attribue à la formation d'une certaine quantité d'ozone et à la production d'acide azotique sous la même influence.

Æpius. — (V. ÆPINUS.)

Ærsted (Jean-Christian), illustre physicien et chimiste danois, né à Rudkjøbing (île de Langeland) le 14 août 1777, mort à Copenhague le 9 mars 1851. Son père exerçait, à Rudkjøbing, la profession d'apothicaire. Ce fut un perreurquier allemand qui fut son premier maître. Le jeune de ce brave homme enseignait à Ærsted et à son plus jeune frère à lire et à écrire, le perreurquier leur apprenait l'allemand. A l'âge de douze ans, Ærsted entra comme apprenti dans l'officine de son père. Un étudiant en théologie lui enseigna les éléments du grec et du latin, et Ærsted associa à ses études la lecture attentive des livres de chimie et d'histoire naturelle qui lui tombaient sous la main; en même temps, il trouvait le moyen de s'initier assez bien aux difficultés de la langue française pour pouvoir traduire *la Henriade* en danois. Au printemps de 1794, Ærsted alla continuer ses études à Copenhague. Deux ans après, il obtint un prix académique pour une composition littéraire; en même temps, il se préparait sérieusement à entrer dans la carrière scientifique; il subit brillamment, en 1787, l'examen de pharmacie, remporta l'année suivante un prix sur une question relative à la médecine et se fit recevoir docteur en philosophie en 1799. Mantley, l'un des professeurs de l'académie, se fit suppléer par lui, en 1800, dans sa chaire de chirurgie, et la Faculté de médecine se l'adjoint

la même année. Les premiers travaux d'Ørsted se rapportent à la chimie. On trouve dans une analyse des travaux de Fourcroy, lui par lui, en 1799, à la Société Scandinave, la première idée du rapprochement à établir dans la classification entre les terres et les alcalis proprement dits.

La découverte de la pile avait, en 1800, ouvert de nouvelles perspectives à l'activité des savants. Ørsted fut des premiers à expérimenter le nouvel instrument de recherches, et formula bientôt cette loi « que les quantités d'alcalis et d'acides mises en liberté par l'action de la pile sont en proportion avec leurs capacités respectives de saturation ». En 1801, ayant obtenu une bourse appelée *stipendium cappellianum*, qui lui permettait de voyager pendant cinq ans aux frais de l'État, Ørsted entreprit son premier voyage scientifique en Europe. Il visita successivement les principales villes de l'Allemagne, où il vit Klaproth, Hermandt, Kiehlmayr, le premier maître et l'ami de Cuvier, Werner, le savant minéralogiste Weiss, Fichte, Schelling, Schlegel, enfin Ritter, dont les travaux ont jeté de nouvelles lumières sur presque toutes les parties de la science, et avec qui il se lia d'une étroite amitié. Il publia en 1803, à Ratisbonne, un petit ouvrage intitulé *Matériaux pour une Chimie du XIX^e siècle*, puis vint à Paris, où il passa quinze mois dans des relations journalières avec Cuvier, Haüy, Vauquelin, Biot, Berthollet, Gayton de Morveau et Thénard. Fourcroy lui ayant demandé un jour s'il avait vu l'École polytechnique, il lui répondit qu'il espérait contribuer par la suite à la fondation, dans son pays, d'une école semblable. Cette idée ne l'abandonna pas et il eut, en 1829, le bonheur de faire goûter ses vues au roi Frédéric VI.

A son retour en Danemark, en 1804, Ørsted fut investi, d'abord pour trois ans, d'une chaire de physique à l'Université de Copenhague, puis nommé, en 1806, professeur extraordinaire à cette université. Ses leçons furent très goûtées. Il y mêlait toujours un peu de philosophie allemande et y professait déjà la croyance à l'identité des forces de la nature, croyance qui devait le conduire plus tard à la découverte d'une preuve au moins de l'identité des forces électriques et magnétiques, et qui, corroborée depuis par les beaux travaux de Faraday, est bien près aujourd'hui d'être universellement acceptée. En même temps qu'il répandait ainsi de nouvelles lumières sur l'ensemble des théories physiques, il perfectionnait celle de l'élasticité par ses expériences concernant les figures produites par les lignes nodales sur les surfaces vibrantes et par ses recherches sur la compressibilité des liquides. Ørsted enseignait les sciences naturelles à l'École militaire depuis 1810 lorsqu'il fut élu, en 1815, secrétaire de la Société royale des Sciences à Copenhague, en remplacement de Burge. Cette même année, le roi le nomma chevalier de l'ordre du Dannebrog, et deux ans après il reçut le titre de professeur ordinaire à l'Université.

Les *Principes de la nouvelle Chimie*, qu'il publia à Copenhague en 1820, avaient déjà été précédés d'un *Aperçu des Lois chimiques naturelles* (1812), traduit en français par M. Marcel de Serres, avec le concours de M. Chevreul (1813). Ces principes reproduisaient sous une forme saisissante la doctrine de l'auteur sur l'unité de la nature. « Nous tâcherons, y disait Ørsted, pour prouver mieux encore l'universalité des deux forces chimique et électrique, de montrer qu'elles produisent aussi des phénomènes magnétiques. » Il n'était cependant pas encore en possession de la grande découverte qui a servi de point de départ à la théorie de l'ÉLECTRO-MAGNÉTISME. Dans cet ouvrage, où il reproduisait sa classification des terres alcalines, dont il

terminait la série par la silice, plus acide qu'alcaline, il faisait déjà remarquer que les terres pourraient être considérées comme des sels. C'était prévoir la naissance de la théorie des silicates, que Tennant et Berzélius allaient fonder.

Sa découverte de l'électro-magnétisme, de l'action des COURANTS sur les AIMANTS, a immortalisé son nom. Elle eut lieu au milieu d'une leçon, devant tous les élèves réunis. Ce fut le 21 juillet 1820 qu'Ørsted communiqua à toute l'Europe le grand fait dont il venait d'enrichir la science. Le petit écrit qui en rendait compte était intitulé : *Expériences sur l'effet du courant électrique sur l'aiguille aimantée* (1820). Il fut adressé le même jour par la poste à toutes les sociétés savantes de l'Europe. Il en parut une traduction dans le cahier des *Annales de Physique et de Chimie* d'avril 1820. Les belles découvertes d'Amperé, qui suivirent presque immédiatement, ajoutèrent un nouvel éclat à celle d'Ørsted, et l'Académie des Sciences de Paris, en accordant à un mouvement d'enthousiasme bien naturel, accorda à l'illustre physicien dans un témoignage jusque-là inusité de considération. On lit dans le compte rendu de la séance publique du lundi 8 avril 1822.

« L'Académie, dans sa séance du 27 mars 1820, avait annoncé qu'elle décernerait, le 22 mars 1822, le prix de mathématiques, consistant en une médaille d'or de la valeur de 3.000 francs, au meilleur ouvrage ou mémoire de mathématiques pures ou appliquées qui lui serait adressé dans le délai de deux ans. Plusieurs recherches physico-mathématiques, dignes de beaucoup d'éloges, ont paru dans cet intervalle; mais l'importance de la découverte de l'action de la pile voltaïque sur l'aiguille aimantée, découverte qui fournit un nouveau principe aux mathématiques appliquées et qui a déjà donné lieu à des applications intéressantes de natyse, a déterminé la commission à lui décerner le prix de mathématiques. La commission chargée de l'examen des pièces pour les prix de mathématiques adjuge toujours ses prix sans le concours de l'Académie. Mais comme la découverte dont il s'agit n'est point explicitement comprise dans le programme, la commission a pensé que l'autorisation de la compagnie lui était nécessaire pour décerner le prix à cette belle découverte. Cette proposition a été adoptée. »

En 1822, Ørsted quitta Copenhague pour se rendre successivement à Berlin, à Munich, à Paris, à Londres et à Edimbourg. C'est pendant ce voyage qu'il correspondait avec Fourier, à Paris (1823), une PILE THÉNAU-FILLENTOUE. Après son retour en Danemark, Ørsted, revenant encore une fois sur ses premiers aperçus de 1799, parvint enfin à décomposer l'oxygène et à obtenir le chlorure d'aluminium. Un de ses derniers travaux se rapportent au DIAMAGNÉTISME, récemment découvert par Faraday.

Conseiller d'État en 1828, il fut nommé directeur de l'École polytechnique de Copenhague, lors de sa fondation en 1829, et y professa la physique jusqu'à ses dernières années. Il était, en outre, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de Copenhague, membre de la plupart des sociétés savantes de l'Europe et associé de l'Académie des Sciences de Paris (1842). Ses concitoyens lui montrèrent, dans les derniers temps de sa vie, une vénération touchante de leur estime et de leur admiration. Le 7 novembre 1850, jour de cinquantième anniversaire de son entrée dans les fonctions publiques, ses amis, ses élèves et le public organisèrent en son honneur une fête à l'issue de laquelle il fut conduit triomphalement au château dit le Fasanhof, dont la jouissance lui était assurée pour le reste de sa vie; le roi l'éleva au rang de conseiller de conférence intime; le recteur de l'Université vint lui remettre un anneau de docteur, avec une fête

de Minerve ciselée en or et enrichie de diamants. Le soir, il fut salué par une marche aux flambeaux et des obscurs d'étudiants. Il ne put prendre possession de sa nouvelle demeure, une légère indisposition l'enleva avant le retour du printemps.

Ce savant a laissé un grand nombre d'écrits et de mémoires insérés dans divers recueils : les *Annales de Poggendorff*, les *Annales de Physique et de Chimie*, les journaux scientifiques de Gœtten et de Schweigger, le recueil de l'Académie de Copenhague, etc. Ils ont trait à des questions de physique, de chimie, particulièrement à l'électricité, au magnétisme, au diamagnétisme, à la GALVANOPLASTIE, à la compressibilité des liquides, à la chaleur, à la lumière, à la fabrication du vin, etc. Parmi ses écrits publiés séparément, nous citerons : *Dissertatio de forma metaphysica elementaris naturæ externæ* (1799, in-8°); *Idee d'une nouvelle architectonique de la métaphysique naturelle* (1802, in-8°); *Mécanique de la propagation des forces électrique et magnétique* (1806); *Considérations sur l'histoire de la Chimie* (1807); *Manuel de Physique mécanique* (1809), refondu et réédité en 1844; *Recherches sur l'identité des forces chimiques et électriques* (1812); *Tentamen nomenclaturæ chemicæ* (1814, in-4°); *Experimenta circum effectum conflictus electrici in acum magnetium* (1820), écrit dans lequel il consigna sa découverte de l'électro-magnétisme; *Deux chapitres de la Physique du beau* (1845); etc. Citons encore de lui quelques poèmes agréables : *le Balcon*, *L'Aéronaute* (1836). Le style d'Ohm est vig, animé, coloré, et ses écrits sont d'une lecture agréable. Des morceaux choisis de ses œuvres ont été réunis et publiés en allemand, sous le titre de *l'Esprit dans la nature* (Munich, 1850). Cet intéressant recueil a été traduit en français par M. Martin, puis par M. J. Guillaume (1861, in-12).

ŒUF ÉLECTRIQUE. — Vase de verre de forme ovoïde dans lequel pénètrent deux tiges de laiton terminées en boules. Cet appareil sert à étudier l'aspect des décharges électriques dans les gaz plus ou moins raréfiés.

ŒUF-SOUPAPE. — Appareil imaginé par M. Gauguin dans le but de mettre en évidence le transport d'une certaine quantité d'électricité d'une électrode recouverte en partie d'une substance isolante vers une autre électrode nue placée en regard, et de démontrer que le transport inverse n'a pas lieu. Cette propriété a été utilisée pour débouder les courants d'induction alternatifs produits par les bobines de RUHKORFF.

Ohm (Georges-Simon), célèbre physicien allemand, né à Erlangen en 1787, mort à Munich en 1854. Il était fils d'un serrurier, dont il partagea d'abord les travaux manuels. Grâce à son intelligence et à son ardeur au travail, il devint professeur de mathématiques au collège des jésuites à Cologne, en 1817; s'adonna d'une façon toute particulière à l'étude de l'électricité, exécuta lui-même des appareils pour vérifier ses théories sur les propriétés des courants d'électricité galvanique et, tant par ses expériences que par ses calculs, il parvint à découvrir les lois qui régissent les courants électriques (1827). Les lois qui servent de base à l'analyse d'Ohm se rapportent à la distribution de l'électricité dans l'intérieur d'un corps, à sa dispersion dans l'air ambiant et à son développement au point de contact de deux corps hétérogènes. Il les formula ainsi : 1° la grandeur du flux est proportionnelle à la différence des tensions; que possèdent deux molécules infiniment voisines l'une de l'autre; 2° la perte d'électricité est proportionnelle à la tension et au coefficient qui dépend de l'état atmosphérique; 3° au point de

contact de deux corps différents, il s'établit une différence constante entre leurs tensions. « En partant de ces trois lois fondamentales, dit M. Radau, Ohm arrive à une théorie simple et complète des phénomènes que présentent les courants constants, et en particulier à la démonstration de cette loi : Que l'action d'un circuit est égale à la somme des FORCES ÉLECTROMOTRICES divisée par la somme des RÉSISTANCES, et que l'effet reste toujours le même quelle que soit la nature du courant, qu'il soit voltaïque ou thermo-électrique. » Les découvertes d'Ohm, confirmées par les expériences et les travaux de Techoer, de Desprez, de Pouillet, passèrent d'abord inaperçues. Ce savant se démit de sa chaire de Cologne et se rendit à Nuremberg, où il devint, en 1833, professeur à l'École polytechnique. En 1841, la Société royale de Londres, rendant enfin justice à l'importance de ses travaux, lui décerna la médaille de Copley. En 1852, il fut appelé à professer la physique expérimentale à l'université de Munich. Indépendamment d'un grand nombre de savants mémoires, on a de Simon Ohm : *Éléments de Géométrie* (Erlangen, 1818, in-8°); *Théorie mathématique des Courants électriques* (Berlin, 1827, in-8°), son ouvrage capital que M. Gauguin a traduit en français (1860); *Éléments de Géométrie analytique* (Nuremberg 1849, in-4°); *Traité de Physique* (Nuremberg, 1854).

OHM. — Nom donné à l'UNITÉ de mesure de RÉSISTANCE électrique. L'ohm légal est représenté par une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 106 centimètres de longueur à la température de la glace fondante.

OHMMÈTRE. — Sorte de GALVANOMÈTRE servant à mesurer les résistances électriques.

L'ohmmètre de MM. Ayrton et Perry est fondé sur la loi d'Ohm et la mesure de R par le rapport $\frac{E}{I}$. Deux bobines fixées à angle droit agissent

sur une même aiguille; une des bobines, à gros fil, est disposée dans le circuit principal; l'autre, à fil fin, est placée en dérivation entre les deux extrémités de la résistance à mesurer. Lorsque les bobines et l'aiguille sont bien proportionnées, les déviations de celle-ci sont dans le même rapport que les résistances, et la mesure se réduit à une simple lecture sur un cadran gradué. Cet appareil dispense de l'emploi d'un galvanomètre et de SORTES de RÉSISTANCES et permet de mesurer la résistance des CONDUCTEURS traversés par des courants sans arrêter les MACHINES.

OKONITE. — Substance isolante. (V. ISOLANT.)

OMBRE ÉLECTRIQUE. — Phénomène observé et signalé à l'Académie de Gœttingue, en 1881, par M. Holtz. Si l'on fixe à l'extrémité de l'une des tiges de l'EXCITATEUR d'une machine de Holtz une large calotte conique garnie à l'intérieur d'un morceau de soie sans pli, maintenu adhérent par une pointe électrique, l'autre tige étant terminée par une pointe, on voit apparaître à cette pointe une petite étoile brillante dès que la machine est mise en mouvement, tandis que sur l'électrode conique il se forme un cercle lumineux et c'est sur ce dernier qu'apparaissent des ombres quand on interpose des objets entre les deux électrodes. Ces ombres ne sont pas dues à un effet d'optique, puisque tous les objets ne les produisent pas. On ne les observe en général qu'avec les corps conducteurs ou semi-conducteurs. Les corps isolants de petite dimension ne donnent pas d'ombre; lorsqu'ils sont un peu grands ils peuvent produire d'abord une ombre, mais celle s'efface peu à peu. Les corps interposés peuvent être indifférem-

ment isolés ou en communication avec le sol. M. Hoitz n'explique pas le phénomène, bien qu'il ait fait de nombreuses expériences à ce sujet. (*Lumière électrique*, t. III, p. 457; t. IV, p. 410; t. XI, p. 433.)

ONDULATEUR. — Appareil construit par M. Lauritzen, de Copenhague, pour remplacer le *simon* reproché de Thomson employé pour les transmissions par câbles sous-marins.

Cet appareil, dont le principe est simple, a pour organe récepteur principal un X en acier aimanté oscillant sur pointes entre les huit pôles de quatre électro-aimants et entraînant dans ses mouvements un petit tube très fin qu'un réservoir maintient rempli d'encra.

OPHTHALMOSCOPE. — Appareil servant à examiner le fond de l'œil et composé généralement d'une lampe, d'un miroir réfléchissant percé à son centre d'un trou, par lequel l'observateur regarde l'œil, et d'une loupe intercalée entre le miroir réfléchissant et l'œil. Cette loupe est destinée à concentrer les rayons lumineux sur la rétine et en même temps à amplifier son image.

M. Giraud-Teulon a perfectionné l'ophtalmoscope en substituant au faisceau de lumière réfléchi un faisceau éclairant direct. Voici la description que le chroniqueur scientifique du *Temps* a donnée de cet appareil : « Dans l'ancien ophtalmoscope monoculaire la déviation portait sur le faisceau incident; il en est autrement si l'on emploie un instrument binculaire. En ce cas le faisceau émergent est reçu sur une surface commune à deux rhomboïdes opposés par le sommet et préposés au partage égal entre les deux yeux de l'observateur de ce faisceau. Ce partage permet de tourner la difficulté. Il ne reste plus qu'à trouver pour le foyer éclairant une position telle qu'il n'intercepte pas par lui-même l'incidence de son inversion sur les rhomboïdes. Pour cela on pratique au centre de la surface commune aux rhomboïdes une porte circulaire de 0^m,004 à 0^m,005 de diamètre, à travers laquelle une source lumineuse, placée en arrière des rhomboïdes, envoie les rayons directs vers l'œil observé. Dans l'appareil de M. Giraud-Teulon, cette source est une petite lampe à incandescence Edison actionnée par trois éléments de pile *Leclanché*. L'observateur, placé en présence de son sujet, prend l'ophtalmoscope et le tient comme il ferait d'une face à main; il met ses yeux en rapport avec les oculaires et pousse le bouton de l'instrument. Outre sa simplicité technique, cette méthode présente l'avantage de rapprocher l'observateur de son sujet presque au contact. Cette condition est d'un grand prix pour l'examen dit *à l'image droite*, image si importante dans l'étude des détails, eu égard à ses qualités amplificatrices. Cet appareil permettra de faciliter et de généraliser la pratique de l'ophtalmoscopie en donnant à tout médecin le moyen de se livrer, sur un terrain réservé jusqu'ici aux spécialistes, à l'étude de l'anatomie pathologique vivante. »

OPHTHALMOSCOPIE. — Art d'observer les yeux à l'aide de l'ophtalmoscope.

OPPOSITION (Méthode d'). — Méthode de mesure fréquemment employée, notamment dans l'évaluation de la résistance des piles, et qui consiste à opposer les courants fournis par ces piles en réunissant leurs pôles de même nom.

OPPOSITION (Montage en). — Deux piles ou deux machines sont dites *montées en opposition* lorsque les pôles de même nom sont réunis ensemble.

OPTO-GALVANIQUE (Réaction). — *Méd.* Lorsqu'on fait agir sur la tête un courant galvanique de médiocre intensité, en plaçant une électrode dans le voisinage de l'œil, chaque ouverture ou fermeture de courant est accompagnée de sensations lumineuses et colorées. Il est difficile de décider si ce phénomène subjectif est dû à l'excitation de la rétine ou à celle du nerf optique. Quoi qu'il en soit, il présente de grandes variétés d'un individu à l'autre. Chez les uns c'est la sensation lumineuse qui domine, et chez les autres c'est la sensation de couleur. Dans ce dernier cas, il y a perception de deux ou trois couleurs sous forme d'anneaux concentriques. On ne peut pas fonder sur ces différences des distinctions pathologiques bien précises. Mais la présence ou l'absence, ou même le degré d'intensité de la réaction peuvent permettre de juger de l'état d'atrophie du nerf optique.

ORAGE. — (V. Foudre, Électricité atmosphérique et Magnétisme terrestre.)

ORAGE MAGNÉTIQUE. — Nom donné aux perturbations magnétiques accusées par des oscillations irrégulières et subtiles des aiguilles aimantées dans toute une région. On a constaté depuis longtemps, et le fait a été vérifié de nos jours, que les orages magnétiques coïncident avec l'apparition des aurores boréales.

ORTHORHÉONOME. — Nom donné par le professeur Fleisch à un instrument de son invention destiné à étudier l'excitation nerveuse provoquée par l'électricité. À l'aide de cet instrument on peut produire et faire agir sur le système nerveux des courants dérivés, croissants ou décroissants, d'une période constante pendant des temps variables.

OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES. — Pendant la décharge induite on observe des oscillations alternativement inverses et directes du courant. Si on interrompt brusquement le courant de la bobine inductrice, il se produit dans le circuit de la bobine induite des potentiels positifs, puis négatifs. Si on relie l'une des extrémités du fil induit avec la terre, l'autre extrémité accusée des inversions rapides de potentiel; la durée de ces oscillations s'accroît lorsqu'on relie les extrémités du fil induit à un condensateur.

M. Oberbeck donne aussi le nom d'*oscillations électriques* à un phénomène électrique présentant une certaine analogie avec la résonance. Si on développe un courant induit dans une bobine dont les extrémités sont reliées à un condensateur, celui-ci se charge d'abord, se décharge ensuite à travers la bobine, et, par le jeu de l'induction, se recharge en sens contraire et ainsi de suite; ce qui donne des oscillations électriques d'amplitudes rapidement décroissantes. Mais si l'on interrompt et si l'on rétablit périodiquement le courant inducteur, on obtient une série de courants induits de sens contraire dont la période de succession peut coïncider avec celle des oscillations électriques dues à un seul courant induit. En faisant varier le nombre des interruptions du courant inducteur on obtiendra un maximum d'intensité des courants induits. Ce phénomène analogue à la résonance a été mis en évidence par M. Oberbeck, qui employait un interrupteur automatique dont il faisait à volonté varier la période à l'aide d'une lame vibrante réglable. Il a observé ainsi les déviations d'un électro-dynamomètre dont les bobines étaient parcourues par les courants d'induction et a constaté un maximum de déviation pour un réglage convenable de la lame vibrante.

OSCILLOGRAPHIE. — Instrument servant à étudier sur un navire l'action de la houle et du roulis, et par suite à établir ses conditions de stabilité. — Le principe de cet instrument a été indiqué en 1869 par M. Berlin. En 1873, M. Froude a construit un appareil dans lequel les rouls relatifs sont mesurés à l'aide d'un pendule et les rouls absolus à l'aide d'un viseur dirigé sans cesse vers l'horizon. — En 1875 M. Berlin établit un oscillographe ne présentant pas les inconvénients du précédent et comprenant deux pendules : les oscillations de ces pendules s'enregistrent sur une bande de papier, et l'électricité intervient au moyen d'un style traceur électro-magnétique pour marquer le temps. (Du Moncel, *Applications de l'électricité*, t. IV.)

OSMOSE ÉLECTRIQUE. — Phénomène de transport d'un liquide à travers une cloison poreuse sous l'influence d'un courant électrique. — M. Porret a réalisé des expériences mettant en évidence le transport d'une solution de sulfate de cuivre de l'électrode positive à l'électrode négative. M. Gore a complété ces essais en opérant sur un certain nombre de liquides : acide chromique, chromate jaune de potasse, carbonate de potasse, etc., lesquels se comportent comme le sulfate de cuivre. Seule une solution alcoolique saturée de brome de baryum a présenté un mouvement en sens inverse. Lorsque le diaphragme poreux sépare des solutions de concentration différente, ces solutions se comportent comme si elles étaient seules ; lorsque ce comportement est la solution la plus étendue vers la plus concentrée, le transport est plus marqué, ce qui est sans doute dû à ce que les phénomènes ordinaires d'endosmose s'ajoutent à l'action électrique.

Otto de Guericke, physicien allemand, né à Magdebourg en 1662, mort à Hambourg en 1686. Il fut, pendant trente-sept ans, bourgmestre de sa ville natale. Mis par ses fonctions en relation avec des princes et des diplomates allemands, il sut les intéresser à ses travaux et à ses expériences, et par là donner à celles-ci une notoriété qui en accrût l'importance. Le premier il tira une étincelle d'un globe de soufre électrisé, et soupçonna que cette étincelle pourrait bien être de même nature que l'éclair qui précède le bruit du tonnerre (V. MACHINE ÉLECTRIQUE). Le premier aussi il réussit à soulever l'air d'un vase clos, et il succéda de cette expérience à ouvrir une ère nouvelle pour la physique. Il faut lire dans son bel et intéressant ouvrage, *Experimenta nova*, le récit des nombreuses tentatives qu'il fit avant d'arriver à un moyen un peu pratique d'opérer le vide. Il essaya d'abord de retirer l'eau d'une barrique à l'aide d'une espèce de grande seringue adaptée à la partie inférieure ; mais à mesure que la barrique se vidait, l'air entrait par toutes les fissures en produisant une sorte de sifflement. Il remplaça le tonneau par deux hémisphères en cuivre embôités l'un dans l'autre ; mais le globe qu'ils formaient se comprima tout à coup avec explosion, pendant qu'on y faisait le vide. Après divers autres essais, il arriva enfin à exécuter une machine pneumatique non telle qu'on en a aujourd'hui, mais suffisante pour lui permettre d'entreprendre une série d'expériences sur les divers effets du vide (1654). Chargé d'une mission auprès de la diète réunie à Ratisbonne, il émerveilla plusieurs des hauts membres de l'Assemblée, entre autres l'empereur, en les rendant témoins des phénomènes alors fameux sous le nom d'*expériences de Magdebourg*. Il émerveilla l'assistance surtout par ses deux hémisphères retenus au contact par la seule pression de

l'air, et que seize forts chevaux suffisaient à peine à séparer. L'archevêque de Mayence voulut avoir l'instrument de Guericke. Il l'emporta dans son palais, et il prenait plaisir à répéter et à expliquer lui-même les expériences. Otto de Guericke a aussi fait de bonnes observations astronomiques. Un des premiers il annonça qu'un comète prôner le retour des comètes. Il donnait des tâches du soleil une explication qui n'a point été admise ; il supposait qu'elles n'étaient autre chose que de petites planètes dont la révolution s'effectuait dans des cercles très rapprochés de cet astre. Ses travaux et ses principales observations ont été publiés sous le titre : *Experimenta nova, ut vocant, Magdeburgica de vacuo spatio, etc.* (Amsterdam, 1672). Il avait écrit une histoire, *Historia civitatis Magdeburgensis occupata et combusta*, qui ne fut pas imprimée.

OZOKÉRITE. — Substance isolante. (V. ISOLANT.)

OZONE. — En 1783, Van Marum avait remarqué que l'oxygène renfermé dans un tube de verre et soumis à l'action d'une série d'ÉTINCELLES ÉLECTRIQUES acquiert une odeur particulière et possède la propriété de se combiner avec le mercure à la température ordinaire. Cette expérience était tombée dans l'oubli, lorsqu'en 1810 Schœnbein constata que l'oxygène dégagé dans la décomposition de l'eau par la PHS possède une odeur particulière et un pouvoir oxydant plus énergique que l'oxygène ordinaire. Il appela *ozone* l'oxygène ainsi modifié.

L'ozone se produit dans certaines actions chimiques et sous l'influence de l'électricité :

1° Dans la décomposition de l'eau par la pile à la condition que l'ELECTRODE POSITIVE soit formée d'un métal inoxydable et que l'eau ne contienne aucun corps susceptible d'absorber l'oxygène. La quantité d'ozone obtenu est d'ailleurs d'autant plus grande que la température est plus basse.

2° Si l'on fait passer une série d'étincelles électriques à travers de l'oxygène contenu dans une éprouvette où l'on a soudé deux fils de platine, et dont l'extrémité ouverte plonge dans une dissolution d'iode de potassium destinée à déceler la présence de l'ozone.

3° Si l'on fait passer une série d'étincelles dans un tube de verre fermé contenant de l'oxygène sec. MM. Andrews et Tait, et M. de Babo ont reconnu que, pour avoir le maximum d'effet, il faut non pas des étincelles brillantes, mais un courant d'électricité diffuse s'échappant de plusieurs fils très fins réunis en faisceau à l'une de leurs extrémités.

4° On obtient encore plus d'ozone en faisant passer l'oxygène entre les plateaux d'un CONDENSATEUR faisant partie du circuit de la pile.

On pense actuellement que l'ozone est de l'oxygène condensé.

Contrairement à l'opinion émise par la généralité des physiciens, M. G. Wunster, dans un mémoire récent, conclut des nombreuses expériences faites par lui que l'ozone se forme par isolation de l'oxygène atmosphérique. Quant à l'électricité atmosphérique, elle serait due, pour la plus grande part, à l'inégal échauffement des régions diaphres ou aqueuses et aussi à la décomposition de l'osone, dont l'énergie chimique se transformerait en électricité.

Le 14 février 1881, M. H. Becquerel a présenté à l'Académie des Sciences une note dans laquelle il ressort que l'ozone a un magnétisme spécifique plus grand que celui de l'oxygène, et notamment plus grand que le rapport supposé des densités de ces deux gaz. Il est donc plus grand que celui qui cor-

responderait à la quantité d'oxygène que l'ozone contient. Ce phénomène est intéressant en ce qu'il peut être rapproché de ceux que présentent certains corps magnétiques qui, à des états de condensation différents, donnent des effets magnétiques croissant beaucoup plus vite que le rapport des densités.

Dosage de l'ozone. — M. D. Tommasi a imaginé un appareil différentiel pour le dosage de l'ozone dans l'air.

Cet appareil se compose d'un aspirateur continu, muni d'un tube en cuivre dont l'extrémité se bifurque en deux branches. A l'une de ces branches on adapte, au moyen d'un tube en caoutchouc, un appareil à trois boules (celui dont on se sert ordinairement pour le dosage de l'ammoniac). A l'autre branche on relie un autre appareil à trois boules semblable au précédent, mais muni, du côté par où pénètre l'air, d'un tube en platine ou en verre de 0^m,30 environ de longueur et de 0^m,04 de diamètre, rempli de mousse de platine.

Pour faire fonctionner cet appareil, il suffit de verser dans les deux récipients à trois boules un volume déterminé d'une solution titrée d'arsénite de sodium, et de chauffer, soit au moyen du gaz, soit par une lampe à alcool, le tube en platine. On ouvre alors le robinet de l'aspirateur et l'on fait passer lentement l'air à travers les appareils. Après quelque temps, on cesse de faire passer l'air à travers la solution d'arsénite, et l'on dose, au moyen d'une solution titrée de permanganate de potassium, la quantité d'arsénite formée dans chaque appareil à boules. Soit x la quantité d'arsénite trouvée dans l'appareil à boules n'ayant pas de tube en platine, et y la quantité d'arsénite produite dans l'autre appareil; $(x - y)$ représentera exactement la richesse en ozone. En effet, dans l'appareil à boules dépourvu de tube en platine, on aura dosé non seulement l'ozone, mais encore tous les autres produits pouvant avoir une action oxydante sur l'arsénite, tandis que dans l'autre appareil muni du tube en platine, on aura dosé les mêmes produits oxydants que précédemment, moins l'ozone, puisque celui-ci aura été transformé, par son passage sur la mousse de platine chauffée, en oxygène ordinaire (n'ayant plus d'action sur l'arsénite).

OZONE. — *Méd.* Il a été beaucoup parlé de l'ozone; mais, il faut le dire, d'une façon absolument hypothétique. Il est certain, étant données les propriétés si caractérisées de ce corps et sa diffusion dans la nature, que son rôle dans l'hygiène et dans la thérapeutique ne peut être indifférent. Cependant ce que nous savons de positif à cet égard se réduit à peu de chose. On a prétendu, mais le fait n'est pas rigoureusement prouvé, que sa quantité moyenne dans l'air diminue dans les épidémies, celle du choléra notamment. Par suite on a préconisé son emploi comme moyen préventif et même curatif. On sait d'ailleurs qu'il jouit de propriétés antiseptiques très prononcées. Enfin, comme il est produit en grande quantité par les DÉCHARGES des MACHINES électriques, on suppose que son action n'est pas étrangère aux bons résultats de la FRANKLINISATION.

OZONOMÈTRE. — Instrument destiné à déceler et à évaluer la quantité d'ozone contenue dans l'atmosphère. L'ozone possède des propriétés oxydantes énergiques; il décompose en particulier l'iode de potassium et met l'iode en liberté. Si donc on expose dans une atmosphère d'ozone du papier amidonné, imbibé d'iode de potassium, ce papier se colore en bleu. Dans les stations météorologiques on possède, sous forme de tableau, une gamme de couleurs passant du bleu le plus pâle au bleu très sombre, qui sert d'échelle ozonométrique et permet d'évaluer la quantité de l'ozone suivant l'intensité de la coloration. D'après certains météorologistes, cette façon de déceler la présence de l'ozone dans l'air et d'évaluer la proportion de ce gaz ne présenterait pas toute l'excellence désirable, attendu que les vapeurs nitreuses, la lumière solaire, les huiles essentielles exhalées par les végétaux bleussent le papier ioduré et amidonné. Cependant les observations faites dans des observatoires isolés et situés au sommet des montagnes dépourvues de végétation sont à l'abri de ces critiques. L'ozonomètre a servi à compléter les remarques de M. Marié Davy, qui a reconnu que les cyclones dont le centre de dépression passe au nord du point des observations agissent fortement sur le papier ozonoscopique, tandis qu'ils n'agissent pas sur lui quand leur centre de dépression passe au sud.

PACHYTROPE. — Nom donné par M. Stæhrer à un commutateur-inverseur.

PACINOTTI (Anneau de). — (V. ANNEAU et MACHINE ÉLECTRIQUE.)

Page (Charles), savant américain, né à Salem, dans le Massachusetts (États-Unis), le 28 juin 1819. Docteur en médecine, il exerça quelques années, puis fut nommé professeur au National medical College à Washington, puis examinateur principal auprès de l'United States Patent Office; plus tard, il s'occupa d'affaires agricoles, comme agent et avoué préposé à l'acquisition des brevets.

En 1838, il découvrit avec Henry (Joseph) que, lorsqu'on aimante une tige de fer doux par le passage d'un fort courant électrique et qu'on la désaimante ensuite rapidement en supprimant le courant, cette tige produit un son, dû à un allongement et à un raccourcissement du métal sous l'influence de l'électricité. Comme l'oreille ne perçoit les sons qu'autant que le nombre des vibrations dépasse 32 par seconde, si l'on établit et interrompt plus de 16 fois en une seconde le courant qui parcourt un ÉLECTRO-AIMANT, les vibrations engendrent des sons, auxquels on a donné le nom de *musique galvanique*. De La Rive augmenta l'intensité de ces sons en employant de longs fils métalliques qui étaient soumis à une certaine traction et qui traversaient l'axe de bobines d'induction entourées d'un fil métallique isolé. Cette découverte reçut plus tard une application importante dans l'invention du TÉLÉPHONE.

Page, en s'appuyant sur l'attraction des tiges de fer doux par les solénoïdes, créa aussi un moteur électrique et l'appliqua à une locomotive électrique, qui fonctionna, parait-il.

Toutes les découvertes de Page ont été publiées dans le *Silliman's Journal*, de 1834 à 1852.

PALETTE. — Pièce prismatique ou cylindrique en fer doux placée en regard des pôles d'un ÉLECTRO-AIMANT télégraphique ou autre. On désigne aussi cet organe sous le nom d'*armature*.

PANTÉLÉGRAPHE. — Système de télégraphe enregistreur autographique permettant de reproduire soit l'écriture, soit les dessins. Il en existe trois types: celui de Caselli, qui est le plus ancien; celui de Meyer et celui de d'Arlicourt. (V. TÉLÉGRAPHES.)

PANTÉLÉPHONE. — Nom donné par M. Lecht-Labye à une sorte de microphone composé d'un contact microphonique établi entre une pièce métallique et une pastille de charbon.

La pièce métallique consiste en une lame de cuivre dont le bord est formé d'un cylindre de platine et qui est pourvue d'une double articulation permettant d'établir le contact suivant une génératrice du cylindre. La pastille de charbon est portée par une plan-

chette verticale en liège suspendue à sa partie supérieure à l'aide de petits ressorts à lame servant en même temps de conducteurs électriques. La planchette peut ainsi osciller autour d'un axe horizontal situé un peu au-dessus de son arête supérieure. Les ondes sonores ne viennent la frapper qu'après avoir été amorties par un voile en drap tendu sur un cadre placé devant l'instrument et formant la face verticale de la boîte, en regard de l'interlocuteur.

PANTINS (Danse des). — Appareil servant à montrer l'attraction et la répulsion électriques. Il est basé sur le même principe que l'ARAIGNÉE DE FRANKLIN et le CARILLON ÉLECTRIQUE.

PAPIER ÉLECTRIQUE. — Le papier écolier et le papier à lettres bien chauffés et vivement frottés, à la main ou avec une brosse, acquièrent des propriétés électriques; ils adhèrent aux tables et aux murs; ils donnent même au contact de la main de petites décharges visibles dans l'obscurité. Mais si l'on prend, comme le fait M. Wiedmann, du papier suédois à filtrer ou ce papier léger qu'on trouve souvent intercalé entre les cahiers de papiers à lettres, et qu'on lui fasse subir le traitement que nous allons décrire, on amplifie notablement les propriétés électriques et l'on en peut tirer des ÉTRANGES de plusieurs centimètres, très visibles dans une chambre obscure; on peut donc en faire une sorte d'ÉLECTROPHONE, comme on le fait avec des lames d'ébonite. Il suffit pour cela de tremper le papier dans un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique à volume égal comme pour faire du fulmicoton. Le papier imbibé est ensuite lavé à grande eau et séché. Dans ces conditions, quand on le frotte vivement, après l'avoir étendu sur une toile étée, on lui donne les propriétés électriques que nous venons d'indiquer, et on peut même arriver par ce moyen à répéter presque toutes les expériences d'électricité.

PAPIER BANDE TÉLÉGRAPHIQUE. — Le papier bande employé pour l'impression des dépêches par les appareils Morse, Hughes et Baudot est de nuance bleu azuré, uni, exempt de grain et bien collé. La largeur de la bande est de 0^m.91. Ce papier est livré en rouleaux de 160 mètres environ; chaque rouleau pèse 80 grammes, ce qui établit un poids de 53 grammes par mètre carré ou 160 mètres de bande. La bande doit pouvoir supporter une traction de 4 300 grammes exercée progressivement et dans le sens de sa longueur. La pâte du papier ne doit contenir aucun sel minéral propre à en augmenter le poids. Le papier bande huilé, destiné à être perforé pour la transmission automatique par l'appareil de Wheatstone, est de couleur blanche; il a 0^m.042 de largeur et pèse de 135 à 140 grammes par 100 mètres de longueur. Chaque rouleau renferme 300 mètres de bande.

PARACHUTE ÉLECTRIQUE. — Appareil imaginé par M. Rive, en 1831, pour faire fonctionner électri-

quement le parachute dont sont munis les bennes de mines. Lorsque le câble ou la chaîne de suspension de la benne se rompt, le circuit électrique à COURANT CONTINU qui maintient le détachement du parachute se trouve rompu et ce dernier fonctionne assez vite pour que le mouvement de descente de la benne ne prenne pas une trop grande accélération. Cette disposition ne présente pas d'avantages bien marqués sur les parachutes purement mécaniques.

PARADOXE MAGNÉTIQUE. — Nom donné au phénomène suivant. Lorsqu'un met en contact les pôles de noms contraires de deux AIMANTS de même force, et si l'un de ces pôles attire une ARMATURE, cette dernière tombe aussitôt, parce que les lignes de force vont directement d'un pôle au pôle voisin sans passer par l'armature.

PARAFFINE (du latin *paraffin*, peu; *affinis*, qui a de l'affinité). — Hydrocarbure présentant l'aspect et la consistance de la cire, employé comme ISOLANT.

PARAPOUDRE. — Synonyme de PARATONNERRE.

PARA-MAGNÉTIQUE (Corps). — Nom donné à tout corps qui est attiré par un AIMANT.

PARATONNERRE. — Appareil destiné à garantir des effets de la foudre.

On distingue deux catégories de paratonnerres : ceux destinés à protéger les édifices et ceux qui servent à protéger les appareils télégraphiques ou autres reliés à des fils aériens, et susceptibles, par conséquent, de recevoir des COURANTS D'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

1^o PARATONNERRES DES ÉDIFICES.

Le paratonnerre, préconisé par Franklin pour préserver les édifices des effets de la foudre, et réalisé pour la première fois par Dalibard à Marly-la-Ville, le 10 mai 1752, se compose d'un système de barres métalliques s'élevant au-dessus d'un édifice ou d'un mât, et descendant, sans aucune solution de continuité, jusque dans l'eau d'un puits ou dans un sol humide. L'effet de cet appareil est basé sur le pouvoir des pointes, qui consiste en ce que les pointes, terminant un conducteur qui communique avec le sol, laissent couler, sans bruit ni explosion, l'électricité destinée à neutraliser celle qui s'est accumulée dans les nuages. C'est ce pouvoir des pointes qui permet de prévenir les ravages de la foudre. En effet, la foudre est l'écoulement subit à travers l'air, sous la forme d'un trait lumineux, du fluide électrique dont un nuage est chargé; si l'on place sur un édifice une barre métallique pointue, communiquant avec la terre à l'aide de corps CONDUCTEURS, le nuage qui passe au-dessus sera suffisamment neutralisé dans son état électrique pour que la DÉCHARGE n'ait pas lieu.

L'efficacité des paratonnerres est incontestée, et comme preuve nous citerons le passage suivant des œuvres d'Arago, dans lequel il expliquait pourquoi le temple de Salomon ne fut jamais frappé de la foudre.

« Le toit du temple, construit à l'orientale et lambrissé en bois de cèdre recouvert d'une dorure épaisse, dit-il, était garni d'un bout à l'autre de longues lances de fer ou d'acier pointues et dorées. Au dire de Josèphe, l'architecte destinait ces nombreuses pointes à empêcher les oiseaux de se placer sur le toit et d'y laisser tomber leur fiente. Les faces du monument étaient aussi recouvertes, dans toute leur étendue, de bois fortement doré. Enfin, sous le par-

vis du temple, existaient des citernes dans lesquelles l'eau des toits se rendait par des tuyaux métalliques. Nous trouvons ici et les lances des paratonnerres, et une telle abondance de conducteurs, que Lichtenberg avait raison d'assurer que la dixième partie des appareils de nos jours sont loin d'offrir, dans leur construction, une réunion de circonstances aussi satisfaisantes. Définitivement, le temple de Jérusalem, resté intact pendant plus de mille ans, peut être cité comme la preuve la plus manifeste de l'efficacité des paratonnerres. »

Examinons maintenant quelles sont les conditions que doivent remplir les paratonnerres pour être efficaces. M. Tricoche, ingénieur électricien, a publié à ce sujet une étude fort bien faite, à laquelle nous empruntons la plupart des renseignements qui suivent.

Un paratonnerre doit être disposé de façon à prévenir des coups foudroyants, les empêcher de se produire et s'opposer à la chute de la foudre; il doit se composer de *pointes* permettant le libre écoulement du fluide, de *conducteurs aériens* et de *conducteurs souterrains* ou *perd-fluide* mis en parfaite communication avec le sol. Malheureusement beaucoup de paratonnerres ne sont munis que d'une seule pointe, ce qui n'est pas suffisant pour l'écoulement du fluide. Il y a donc un grand intérêt à étudier de près les meilleures dispositions à prendre pour l'installation des diverses parties des paratonnerres.

Pointes. — Les pointes de paratonnerres se font généralement en cuivre : une tige cylindrique

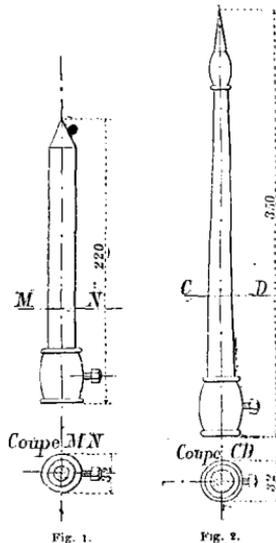


Fig. 1.

Fig. 2.

terminée par un cône forme pointe, l'autre extrémité possède une douille qui permet de la fixer à la tige du paratonnerre (fig. 1); ou bien la tige a une forme tronconique; elle est terminée par une olive, puis par une pointe très aiguë (fig. 2).

En vertu de la théorie du pouvoir des pointes, c'est la pointe la plus aiguë qui permettra le plus facilement l'écoulement du fluide,

mais ici se présente un inconvénient : la partie aiguë n'aura qu'une durée très courte; elle sera facilement fondue par l'électricité, la quantité de chaleur dégagée dans un conducteur étant inversement proportionnelle à sa section (loi de Joule) (1).

C'est pour obvier à cet inconvénient que le génie militaire français a adopté le modèle représenté fig. 3, dans lequel le petit cône qui surmonte l'olive est en platine. La marine emploie également une pointe en bronze terminée par du platine. Mais, malgré cette précaution, l'extrémité du platine est souvent fondue en temps d'orage, et dans ce cas, le paratonnerre cesse d'être préventif.

M. Melsens, ingénieur électricien belge, qui a fait de très importantes études sur l'électricité atmosphérique, a imaginé, dans le but d'augmenter la section d'écoulement du fluide et d'éviter l'inconvénient ci-dessus signalé, de former un faisceau de pointes (fig. 4). Il garnit toutes les parois saillantes de l'édifice de tiges courtes et multipliées facilitant par leur nombre la recombinaison de l'électricité du ruage induc-

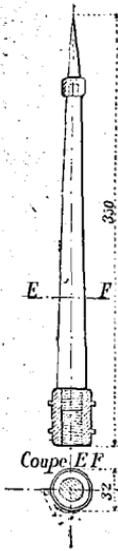


Fig. 3.

teur avec l'électricité induite sur l'édifice et dans le sol. Ces tiges sont reliées à la terre par de nombreux conducteurs qui enferment l'édifice dans une sorte d'armure ou de cage métallique, rappelant, soit qu'un homme dans une armure de fer est à l'abri de la foudre, soit l'expérience bien connue de la cage de FARADAY. Ce système a été appliqué à l'Hôtel de ville de Bruxelles et il est très répandu en Belgique. Son principal avantage est son prix peu élevé. Ainsi, différents bâtiments protégés par le paratonnerre Melsens en Belgique ont nécessité une dépense de 62.362 francs pour une surface totale couverte de 86.314 mètres carrés, soit 0 fr. 72 par mètre carré. D'autres bâtiments munis de paratonnerres à grandes

tiges avaient donné lieu à une dépense de 96.381 francs pour une surface couverte de 20.350 mètres carrés, soit 4 fr. 46 par mètre carré.

M. Buchin a imaginé en 1877 un modèle de pointe de paratonnerre en cuivre rouge à section angulaire terminée par une pyramide (fig. 5), et présentant par conséquent à l'écoulement du fluide sa pointe extrême plus les pointes d'intersection de la base de la pyramide avec le corps de la pointe, ainsi que toutes les arêtes qui agissent comme un nombre considérable de pointes; par cette disposition on évite les inconvénients des coups de foudre latéraux, et on peut décharger une nappe par les pointes et les arêtes lorsque l'électricité se manifeste sous cette forme. M. Melsens a constaté, en effet, que les coups de foudre qui ont frappé l'Hôtel de ville de Bruxelles, avant d'être armé de paratonnerres, se sont princ-

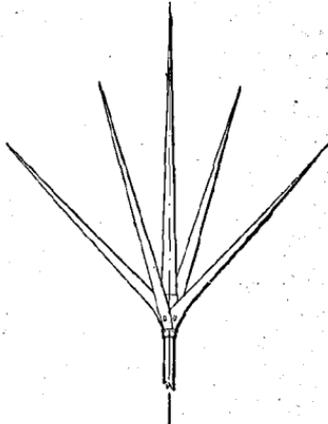


Fig. 4. — Paratonnerre Melsens.

palement produits du côté d'où venait le vent O.-N.-O. et sir Williams Snow Harris fait la même observation dans son ouvrage : *On the nature of Thunder Storms*. Neuf paratonnerres de ce système ont été installés à l'observatoire du pic du Midi (altitude 2.877 mètres) en 1880; les résultats ont été des plus satisfaisants.

Déplus, M. Buchin a apporté une modification à sa disposition primitive : il a divisé les arêtes en un grand nombre de petites pointes ou pyramides (fig. 6), ce qui facilite l'écoulement du fluide sans fusion de pointes et arêtes, et augmente ainsi l'action préventive du paratonnerre. Il est d'ailleurs facile de vérifier expérimentalement l'avantage des pointes aiguës et surtout des pointes multiples. Il suffit de prendre une BATTERIE DE BOUTEILLES DE LEYDE ou une forte machine électro-statique à décharger. Lorsqu'on présente une pièce métallique arrondie, la décharge ne commence que lorsqu'on est très près du réservoir d'électricité et il se produit alors une très forte étincelle. La décharge a lieu au contraire à une grande distance lorsque l'on fait usage d'une pointe, et l'étincelle est d'autant moins forte que la pointe est plus aiguë; elle est même remplacée par une AIGRETTE LUMINEUSE

(1) M. Semmla a démontré expérimentalement que le passage de l'électricité statique d'un conducteur dans l'air détermine un échauffement de l'un et de l'autre. Il a employé pour cela une pointe formée de deux métaux, antimoine et bismuth, ce qui constitue un couple thermo-électrique, qu'il a relié à un galvanomètre sensible. Il a ensuite fixé une pointe semblable au conducteur d'une machine électrique en activité, et il a constaté que le GALVANOMÈTRE accusait immédiatement l'échauffement de la pointe. Il est curieux de remarquer que cet échauffement est plus considérable dans le cas où la pointe est chargée d'électricité négative. Si la pointe, au lieu d'être reliée au conducteur de la machine, est mise en communication avec la terre et placée en regard de ce conducteur et à une faible distance, l'écoulement de l'électricité se fait de la même manière, et l'échauffement se constate également; ce dernier est moindre s'il jallit une étincelle continue. Des tiges métalliques de ce genre montées sur une tige pourraient être employées pour l'étude de l'électricité atmosphérique.

lorsque le paratonnerre est terminé par une grande quantité de petites pointes. Les phénomènes obtenus avec la batterie de bouteilles de Leyde ou la machine électro-statique se reproduisent du la même manière avec les nuages saturés d'électricité.

Il n'est pas sans intérêt de reproduire à ce sujet le passage suivant d'une note insérée dans l'*Annuaire de la Société météorologique de France* (avril 1886), dans laquelle M. Vauissat, directeur de l'observatoire du pic du Midi, relate une expérience faite à cet observatoire.

« De cette expérience, dit-il, il nous reste la certitude que, si réellement des gerbes lumineuses ont été vues sur des pointes au sommet d'une montagne, elles ne peuvent être d'une origine et d'une nature différentes de celle du feu SAINT-ELME qui agré-

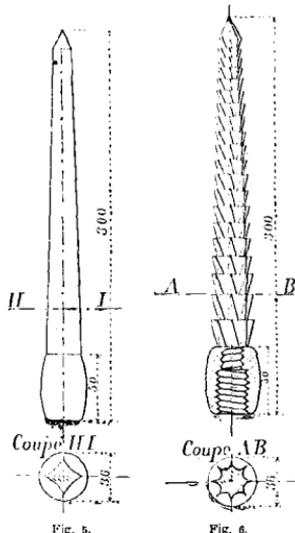


Fig. 5.

Fig. 6.

mente en temps d'orage nos paratonnerres si efficaces. Dans ce lieu où se forme, ou plutôt se dégage, une grande masse d'électricité au milieu de laquelle nous circulons presque constamment, nous avons pu faire de nombreuses observations sur le feu Saint-Elme, sur le sifflement des pointes de nos paratonnerres et sur l'indication qu'ils fournissent. L'étude des roches ferrugineuses qui se montrent sur quelques points de notre sommet nous a indiqué d'une manière certaine leur rôle comme conducteur, et aussi que les crêtes et le sommet du pic étaient le lieu d'élection, un point de concentration, ou une réserve permanente d'électricité à l'état statique, qui, selon son plus ou moins de tension, se déchargeait sur les nuées orageuses moins électrisées ou recevait les décharges de ces nuées quand celles-ci étaient plus chargées d'électricité que les crêtes. Ces observations nous ont conduit à l'établissement d'un réseau de paratonnerres suffisant pour nous permettre de vivre en sécurité dans un pareil milieu à la condition d'une

surveillance constante du bon état des conducteurs, dont les uns vont se noyer dans les lacs inférieurs et les autres disparaissent dans les ravins, après avoir été enfouis sous les névés perpétuels. »

Conducteurs aériens. — Les conducteurs aériens se composent de deux parties, la tige placée en saillie sur le bâtiment et le conducteur proprement dit qui part de cette tige pour se rendre dans le sol et qui aboutit au pied-luide.

Tiges. — Il est logique d'employer de longues tiges, puisque, d'après les lois de Coulomb, les attractions et répulsions électriques sont en raison inverse du carré des distances entre les corps qui s'influencent ou agissent l'un sur l'autre, et sont proportionnelles au produit des quantités d'électricité réparties sur les deux corps et qui agissent l'une sur l'autre en se repoussant ou en s'attirant.

Des commissions de l'Académie des Sciences ont, à plusieurs reprises, publié des instructions sur les paratonnerres; la première, qui remonte à 1823, eut pour rapporteur Gay-Lussac; Pouillet fut, en 1854 et en 1867, rapporteur de deux autres commissions nommées dans le même but.

En 1875, une commission composée de MM. Alpland, Belgrand, Fizeau, comte Du Moncel, Ed. Becquerel, Desains, Sainte-Claire Deville, Duc, Ballu, Davoulet et Félix Lucas fut chargée d'étudier l'établissement des paratonnerres des édifices municipaux de Paris; enfin, le Congrès international des Électriciens, tenu en 1881 à l'EXPOSITION INTERNATIONALE d'électricité de Paris, a discuté la même question.

Il résulte des opinions émises par la commission de 1875 que, dans une construction ordinaire, une tige protégée efficacement le volume d'un cône de révolution ayant la pointe pour sommet et pour rayon de base la hauteur de cette tige mesurée à partir du faitage multipliée par 1,75. Ainsi une tige de 8 mètres protégée efficacement un cône dont la base mesurée sur le faitage aura $1,75 \times 8 = 14$ mètres de rayon. D'après Arago, l'amplitude de l'action préservatrice du paratonnerre peut être estimée égale au double de la hauteur de la tige au-dessus de son point d'attache.

En suivant ces indications on peut déterminer le nombre des appareils à placer sur le comble d'un édifice pour le préserver des effets de la foudre.

Comme on le voit, les opinions émises par les diverses commissions relativement à la zone de protection d'un paratonnerre, par rapport à sa hauteur, ne sont pas concordantes. En réalité, cette zone est exactement telle, que la résistance que l'électricité rencontre pour se décharger aux limites de cette zone est égale à celle qu'elle rencontre dans le paratonnerre.

« La zone de protection, dit M. Pescetto (*l'Électricien*, n° 292, t. XI), dépend évidemment des résistances relatives du paratonnerre et de l'espace qu'il s'agit de préserver. On ne sait pas mesurer ces résistances; mais on sait qu'elles sont liées aux phénomènes de SELF-INDUCTION, à la durée de la DÉCHARGE, à l'intensité du COURANT, à la POLARISATION, aux contacts des parties métalliques avec la terre, à l'humidité de l'air, etc. Ces causes agissent différemment sur le paratonnerre et sur la zone, et par conséquent le rapport entre les deux résistances varie continuellement; et, puisque les variations se présentent d'autant plus rarement qu'elles sont plus fortes, on comprend comment on a attribué à la zone de protection une étendue d'autant plus petite que l'expérience a été plus longue. »

M. Pescetto fait observer qu'en 1881, au Congrès International des Électriciens, sir W. Thomson, s'appuyant sur les travaux de MM. Kirchhoff et Hertz, avait établi que la résistance d'un conducteur de fer à une décharge électrique n'est pas la résistance métallique exprimée dans la théorie d'Ohm, mais qu'à celle-ci s'ajoute une résistance provenant de la self-induction.

Plus récemment, le professeur Hughes a attiré l'attention des électriciens sur la self-induction qui se produit dans les conducteurs rectilignes. Les professeurs F. Weber et Eric Gérard ont aussi étudié ces phénomènes. « L'obstacle qu'un conducteur oppose à une décharge ne dépend pas seulement de sa résistance métallique, mais elle est d'autant plus grande que la variation du courant est plus grande et plus rapide et que le coefficient de self-induction est plus élevé. Les conducteurs des paratonnerres sont destinés à donner passage à des courants de haute intensité, dans un temps relativement court; ils offriront, par conséquent, une résistance apparente très grande. Ils doivent donc être établis de façon à présenter le moindre coefficient de self-induction possible. Or, il résulte des études faites sur la question que, pour un conducteur à section circulaire, le coefficient L de self-induction pour les métaux non magnétiques, tels que le cuivre, est

$$L = 2l \left(\log_e \frac{2l}{r} - 0,75 \right),$$

et pour les métaux magnétiques

$$L = 2l \left(\log_e \frac{2l}{r} - 0,75 + K \right),$$

l désignant la longueur du conducteur, *r* le rayon de sa section et *K* une constante dont la valeur varie de 25 à 30 pour le fer et l'acier doux (Eric Gérard, *Éléments d'Electrotechnique*, page 163). De cette conclusion que le fer oppose un obstacle plus considérable que le cuivre à la décharge de la foudre, et par conséquent que la zone de protection pour un paratonnerre en cuivre sera plus étendue que pour un paratonnerre en fer de même hauteur et de même résistance métallique, toutes les autres conditions restant égales. »

Les savants et les commissions qui ont déterminé à diverses époques les conditions d'établissement des paratonnerres sont d'accord pour recommander les longues tiges, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut; mais ces tiges présentent l'inconvénient d'être lourdes, de surcharger le poinçon de l'édifice sur lequel elles sont placées et d'être difficiles à poser. Ainsi, il n'est pas rare qu'une tige pleine de 6 mètres de longueur pèse 150 kilogrammes.

C'est pour rendre la pose plus facile que le génie militaire établit les tiges en deux parties ainsi que le représente la fig. 7. Pour assurer un bon contact, le conducteur est pris entre l'empattement et une rondelle serrée au moyen d'un autre écrou. Cette disposition permet la vérification de tout le système. M. Mors, dans le but de diminuer le poids de la tige, a construit des paratonnerres tubulaires formés de deux parties réunies par un filet de vis; enfin, M. Buchin, dans une installation de paratonnerres à l'observatoire du pic du Midi, a pris les dispositions suivantes: la tige conique est en fer creux (fig. 8), elle est filetée sur une assez grande longueur à sa partie inférieure, et sont vissés les trois écrous de serrage destinés à la fixer. La pointe en cuivre rouge dont il a été parlé plus haut, est vissée à l'extrémité

supérieure; deux brides forgées à la demande du poinçon, disposées en croix sur ce dernier et fixées par des boulons, sont percées d'un trou laissant passer la

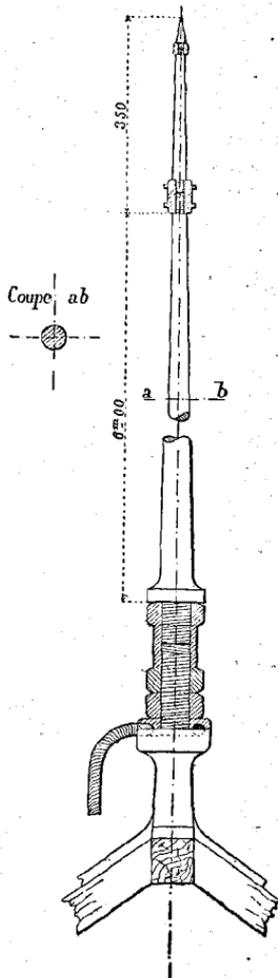


Fig. 7.

tige; elles sont fortement serrées entre deux écrous vissés sur la tige et servent à la maintenir; le troisième écrou est destiné au serrage du conducteur. Une tige de 6 mètres de longueur ainsi construite

pèse avec ses écrous 35 kilogrammes environ. Elle présente sur les tiges pleines l'avantage d'une dimi-

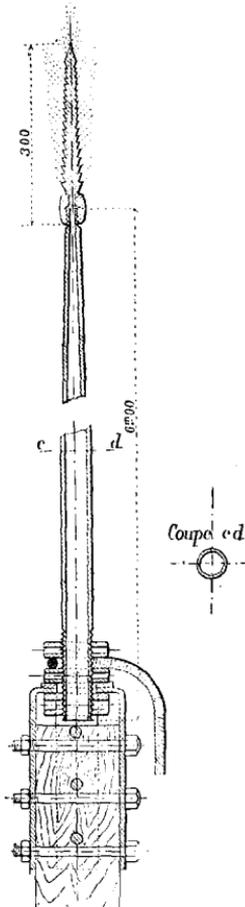


Fig. 8.

nution de poids considérable et elle offre, en outre, à section égale, une résistance plus grande à la flexion.

Conducteur proprement dit. — L'établissement des conducteurs proprement dits a une grande importance; il y a lieu d'examiner la forme, les dimensions à leur donner, la nature du métal dont ils doivent être faits.

Dans certains cas, les conducteurs sont formés de barres de fer carrées de 0^m,015 à 0^m,020 de côté assemblés bout à bout et soutenues à 0^m,42 ou 0^m,45 du toit par des crampons à fourche, que l'on place à environ 3 mètres les uns des autres. Arrivé au bord du toit, le conducteur se replie sur la corniche et contre le mur le long duquel il descend, sans le toucher, et où il est fixé par des crampons scellés dans la pierre. A 0^m,50 ou 0^m,55 dans le sol, il se recourbe perpendiculairement au mur, se prolonge, dans cette direction, de 4 à 5 mètres et est mis en communication avec le conducteur souterrain dont il sera parlé plus loin.

Comme exemple de ce système nous citerons l'installation des paratonnerres de l'hôtel Carnavalet à Paris : les tiges sont au nombre de cinq, dont quatre de 9 mètres et une de 6 mètres; elles sont en fer forgé et ont la forme d'un tronc de cône droit dont le diamètre de base est 0^m,01 de la longueur de la tige sans toutefois dépasser 0^m,40 et dont le diamètre de la section supérieure est de 0^m,025. La pointe est une flèche conique en cuivre rouge de 0^m,50 de hauteur, vissée, goupillée et soudée dans la tige. Le circuit des falles réunissant les 5 tiges et le conducteur aboutissant au perd-fluide, formé d'un cylindre métallique plongeant dans l'eau d'un puits intarissable, sont constitués par des barres de fer doux galvanisées de 4 centimètres carrés de section et de 4 à 5 mètres de longueur. Les joints sont ajustés à mi-fer, bouillonnés avec une lame de soudure intermédiaire et noyés dans une masselotte de soudure. Le circuit des falles porte quatre compensateurs pour obvier aux inconvénients résultant des contractions et dilatations subies par le métal sous l'influence des variations de température. Chaque compensateur consiste en une bande de cuivre rouge recourbée et encastrée de part et d'autre dans les extrémités de la solution de continuité établie dans le circuit des falles. Toutes les pièces métalliques de masse un peu considérable entrant dans la construction de l'édifice sont reliées au circuit des falles.

On peut aussi employer pour les conducteurs des cordes métalliques qui présentent plus de flexibilité que les barres, permettent d'éviter les raccords et diminuent ainsi les chances de solution de continuité. On fabrique aujourd'hui des cordes métalliques sans soudure d'une assez grande longueur en cuivre ou en fer. Depuis quelques années on trouve, en effet, dans tous les grands centres industriels de gros fils de cuivre tirés à la filière de 0^m,005 à 0^m,012 de diamètre et en bouts de 20 à 30 mètres. M. Colladon dit que les constructeurs de paratonnerres seraient coupables de ne pas employer ces fils à peu près exclusivement à cause de leur meilleure conductibilité et surtout parce qu'ils sont bien plus durables à l'air et dans le sol que les câbles en fils de fer même zingués ou étamés. Le génie emploie les câbles en cuivre. D'après M. Pesetto les conducteurs constitués par des cordes métalliques sont préférables à ceux en métal plein et d'égale section circulaire. L'avantage des câbles est plus grand pour les métaux magnétiques. Il convient de donner aux câbles un diamètre de 0^m,015 à 0^m,020.

Bien que le cuivre doive être préféré au fer, on emploie cependant ce dernier à cause de son prix moins élevé. La Commission chargée d'étudier l'établissement des paratonnerres des édifices municipaux de Paris a banni l'emploi du cuivre en se basant sur ce que sa valeur intrinsèque tente les voleurs et que l'enlèvement d'une partie du conducteur peut causer des accidents graves.

Une condition sur laquelle il y a lieu d'appeler

l'attention des constructeurs, c'est la nécessité de mettre en relation toutes les parties métalliques du bâtiment avec les conducteurs du paratonnerre. Du Moncel, rendant compte des expériences faites par l'administration des Lignes télégraphiques françaises sur les parafoudres télégraphiques, conclut qu'il est utile, sinon nécessaire, de rattacher les conducteurs aux conduites d'eau et de gaz. La Commission chargée d'étudier l'établissement des paratonnerres des édifices municipaux de Paris a définitivement admis qu'il serait permis de rattacher le paratonnerre avec les conduites d'eau; mais elle est restée muette sur les conduites de gaz. Dans son instruction parue en 1875, elle dit: « Lorsqu'il ne sera pas possible d'atteindre la nappe d'eau souterraine par des puits ou par un forage, ou de se relier à une grosse conduite d'eau, il faut renoncer à établir un paratonnerre, qui serait plus dangereux qu'utile. » En 1876 l'Académie de Berlin préconisait le raccordement des conducteurs aux conduites d'eau et de gaz.

Melsens, dont nous avons déjà cité les travaux sur cette question, et qui remplace, comme nous l'avons dit, les hautes tiges par de petites aigrettes formées de tiges de cuivre rouge de 0^m,005 de diamètre terminées en pointes, a soin de réunir ces paratonnerres multiples par de nombreux conducteurs en formant ainsi un véritable réseau mis en relation avec la partie souterraine des conducteurs. Il recommande d'augmenter par tous les moyens possibles la surface de cette partie souterraine, de relier les conducteurs avec les tuyaux d'eau et de gaz ainsi qu'avec les tubes de chauffage et de ventilation s'il en existe dans les bâtiments à protéger.

Conducteur souterrain ou perd-fluide.

— Pour qu'un paratonnerre ne puisse pas être dangereux, il faut non seulement qu'il communique avec la terre sans aucune solution de continuité, que le diamètre des conducteurs proprement dits soit suffisant pour offrir un passage au fluide électrique, mais encore que la communication de ces conducteurs avec la terre soit bien établie. Il faut se rappeler que si l'on prend la conductibilité du fer comme unité, celle de l'eau est 1 million de fois moindre et celle de la terre humide 4 millions de fois moindre. Dans son ouvrage sur les paratonnerres, Melsens dit: « Lorsqu'on examine attentivement les circonstances dans lesquelles la foudre est tombée sur des édifices munis de paratonnerres, on constate que c'est presque toujours à un défaut de communication avec l'eau continue (sources, rivière, nappe d'eau) ou à la mauvaise conductibilité du sol humide dans lequel aboutissent les conducteurs aériens qu'il faut attribuer les dégâts produits par la foudre; dans les deux cas, à un contact de trop faible section avec l'eau et le sol. »

Ainsi donc le conducteur souterrain doit avoir une

grande surface de contact avec le réservoir commun, la terre; afin d'éviter une résistance et pour augmenter cette surface, il convient de relier les conducteurs avec les conduites d'eau, de gaz et les parties métalliques en communication avec le sol. Quand un édifice sera muni de plusieurs paratonnerres, il sera nécessaire d'avoir au moins un perd-fluide par deux tiges de paratonnerres. Dans le cas de plusieurs perd-fluide, on devra les relier métalliquement pour permettre à l'électricité de s'écouler par n'importe lequel d'entre eux.

La forme des perd-fluide peut varier; le conducteur souterrain se termine ordinairement par deux ou trois racines. La fig. 9 représente le perd-fluide Callaud, qui est en fer forgé et est adopté par le génie militaire; la fig. 10 représente le perd-fluide en fonte adopté au pic du Midi.

Malgré la grande surface que présente le perd-fluide, il est indispensable de le conduire jusqu'à une nappe d'eau. Lorsque cela est impossible, on doit l'établir dans la terre humide et y conduire les eaux pluviales pour entretenir l'humidité, le garnir de coke et machefier, afin d'augmenter la surface conductrice, et au besoin mettre deux perd-fluide réunis ensemble.

Vérification d'un paratonnerre.

— Voici maintenant comment on peut vérifier pratiquement le bon état d'un paratonnerre: on visitera d'abord la pointe, qui le rend autant plus prévenant que sa section d'écoulement est plus grande; on s'assurera que cette pointe n'est pas endommagée; on examinera ensuite s'il n'existe pas de solution de continuité dans les conducteurs et si la résistance de contact avec la terre n'est pas trop considérable. Pour avoir des résultats absolus, il faut mesurer la résistance de la pointe jusqu'à la terre avec des appareils de mesure de résistance: PONT DE WHEATSTONE, etc. Mais en pratique on peut, au besoin, attacher un fil conducteur à la pointe du paratonnerre et le relier à une sonnerie, puis réunir l'autre borne de cette sonnerie au pôle d'une pile, dont l'autre pôle est en communication parfaite avec la terre (on choisira autant que possible un courant d'eau). Le circuit, dans ce cas, doit être fermé et la sonnerie doit fonctionner. Si elle ne fonctionnait pas, cela indiquerait une solution de continuité ou un mauvais contact avec la terre, ce qu'il faudrait vérifier.

MM. Siemens frères et C^o construisent un appareil très commode pour vérifier le circuit des paratonnerres; il se compose d'une MACHINE magnéto-électrique renfermée dans une boîte avec un pont de Wheatstone portatif. La résistance variable de ce dernier est formée par un fil en maillechort recourbé, au-dessus duquel se trouve un bras mobile

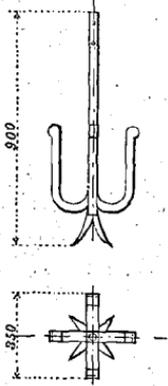


Fig. 9.

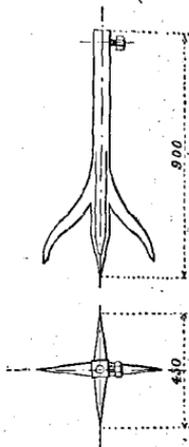


Fig. 10.

autour d'un pivot et qui sert à la fois de contact pour le pont et de COMMUTATEUR pour le courant produit par la machine. Un petit GALVANOMÈTRE horizontal et un porte-feuille contenant des fils conducteurs souples complètent l'appareil, avec lequel on peut mesurer des résistances allant de 4/10 d'ohm jusqu'à 500 ohms.

Après avoir essayé de résumer aussi succinctement que possible les prescriptions données par les constructeurs et par les sociétés savantes pour l'établissement des paratonnerres, nous devons faire connaître le résultat des expériences toutes récentes d'un savant anglais, M. le professeur Olivier Lodge, expériences qui ont été répétées en public dans deux conférences faites à la Société des Arts de Loudres. M. Lodge a eu pour lui de démontrer combien il faut se défier de la théorie classique. Ainsi, nous avons dit plus haut que depuis quelques années on attachait une grande importance à l'emploi du cuivre pour former les conducteurs des paratonnerres, et que pour justifier cette préférence on s'appuyait sur la connaissance des phénomènes de self-induction. M. Lodge fait remarquer que dans un coup de foudre la rapidité de la décharge électrique est telle que le fer n'a pas le temps de subir son influence, et que, par conséquent, il importe peu que le métal soit magnétique ou non. En opérant avec une machine électrique de Voss et des bouteilles de Leyde, on a constaté que la décharge se fait entre deux bornes sous forme d'une étincelle traversant l'air, plutôt que de suivre un circuit métallique en cuivre ou en fer reliant les deux bornes et offrant moins de résistance que l'air : il semble même que la longueur de l'étincelle diminue lorsque le circuit était en fer.

On sait que la foudre, après avoir frappé un paratonnerre, suit quelquefois le conducteur sur une longueur de quelques mètres, puis pénètre dans l'édifice ou atteint un objet voisin et exécute une série de vagabondages. Elle se comporte alors comme le liquide contenu dans un tuyau, lorsqu'un lieu de lui appliquer une pression progressive on exerce un effort brusque et violent. Dans le premier cas le liquide se serait écoulé régulièrement, tandis que dans le deuxième cas il jaillit hors du tuyau qu'il fait éclater. De même avec le courant électrique la self-induction créerait une résistance à son passage dans le conducteur et déterminerait ce qu'on appelle les « coups de foudre latéraux ». Le moyen de prévenir ces accidents serait de relier la tige du paratonnerre avec les toits métalliques et les grandes surfaces conductrices, qui joueraient le rôle de condensateurs. Hélas-nous de dire que ce n'est pas ce que recommandent les prescriptions des sociétés savantes. En résumé les travaux de M. Lodge ont pour résultat de mettre en doute l'efficacité des paratonnerres. Nous avons cru devoir relater ici l'opinion de ce savant anglais en lui en laissant toute la responsabilité.

3° PARATONNERRES DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES.

Dans certains pays on protège les poteaux télégraphiques contre l'action de la foudre. Ainsi en Angleterre, chaque poteau est muni d'un fil de terre qui est prolongé jusqu'à l'extrémité supérieure du poteau et sert de paratonnerre. Dans les Indes, un poteau

le plus voisin du poste, on fixe à chaque isolateur un anneau de laiton muni d'une tige pointue de même métal, dont la pointe est disposée très près du poteau s'il en est en fer, ou du fil de terre du poteau si ce dernier est en bois. On place des paratonnerres aux points de raccordement des LIGNES souterraines ou sous-marines avec les lignes aériennes. Enfin aux extrémités des câbles qui traversent les tunnels ou les cours d'eau, l'administration des Télégraphes allemands place des paratonnerres très simples qui consistent en une sorte d'isolateur à double cloche en ébonite, dont la partie supérieure est formée par une plaque en laiton à stries circulaires ; à une petite distance au-dessus est placée une autre plaque à stries rectilignes, formant avec la première un paratonnerre à plaques striées et à air. La plaque supérieure est à la terre : à la plaque inférieure est vissée une tige centrale en cuivre qui se prolonge suivant l'axe des cloches et à laquelle on soude le fil de ligne.

Melsen a proposé, pour sauvegarder les lignes télégraphiques contre les effets de la foudre et peut-être pour permettre de s'en servir sans danger pendant les orages, de poser sans ISOLATEURS, à la tête des poteaux, un fil mis de distance en distance en communication avec la terre au moyen de fils spéciaux terminés par une aigrette à leur sommet et plongeant dans le sol à l'autre extrémité.

3° PARATONNERRES DES POSTES TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES.

Les paratonnerres employés dans les postes télégraphiques pour préserver des décharges d'électricité atmosphérique les appareils de ces postes sont de modèles très divers. Nous donnons ci-après la description de quelques types.

Paratonnerres à fil fin et à pointes. — Ce paratonnerre, appelé souvent *paratonnerre à tube*, est un

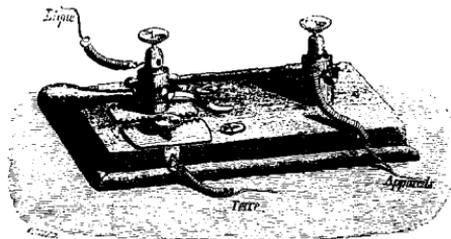


Fig. 11. — Paratonnerre à fil fin et à pointes (Bréguet).

des plus simples; il se compose (fig. 11) de deux bornes réunies par un fil de fer très mince de 1/100 de millimètre, placé à l'intérieur d'un tube de bois qui le protège, d'un commutateur à manivelle qui peut se placer sur l'un ou l'autre des pôles que l'on aperçoit sur la figure ou entre ces deux pôles; dans ce dernier cas la ligne communique avec les appareils par l'intermédiaire du fil fin, et s'il survient un orage, le courant atmosphérique brûle le fil et isole le poste. Soivant que le commutateur est sur l'un ou sur l'autre des deux pôles, la ligne est mise directement sur appareils ou sur terre. La borne de ligne est montée sur une plaque munie de pointes, en regard de laquelle se

trouve une plaque semblable en communication permanente avec la terre. Ces plaques constituent un paratonnerre à pointes destiné à l'écoulement lent de l'électricité atmosphérique.

Dans certains modèles, le fil tenu est simplement enroulé en hélice dans une gorge pratiquée sur la surface d'un petit cylindre de bois.

Paratonnerre à papier. — Il se compose de deux plaques métalliques, l'une reliée à la terre, l'autre placée dans le circuit du fil de ligne. Ces plaques sont appliquées l'une contre l'autre et séparées par une feuille de papier qui les isole en temps ordinaire (fig. 12). Un bouchon métallique est enfoncé

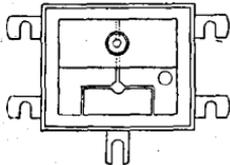


Fig. 12. — Paratonnerre à papier pour deux lignes (vue en plan).

dans le trou de droite en temps ordinaire et dans le trou du milieu en cas d'orage, ce qui met les deux lignes à la terre d'un seul coup; il est bon de se servir de papier paraffiné. On remplace quelquefois le papier par une feuille mince de mica ou de gutta-percha. Lorsque l'électricité atmosphérique acquiert une intensité dangereuse, des étincelles jaillissent entre les deux plaques, percent le papier, et le fluide électrique peut s'écouler à la terre sans danger pour les appareils du poste.

Paratonnerre à papier et à pointes. — Pour augmenter l'efficacité du paratonnerre, on fait la plaque supérieure en deux parties, dont les bords en regard sont dentelés de façon à former deux peignes (fig. 13).

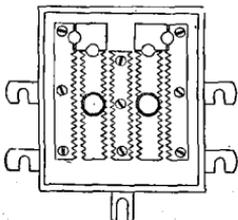


Fig. 13. — Paratonnerre à papier et à pointes pour deux lignes (vue en plan).

Les plaques protègent le poste contre les décharges brusques, tandis que les pointes assurent l'écoulement lent et successif à la terre de l'électricité accumulée qui pourrait détériorer les appareils télégraphiques, bien que son intensité soit insuffisante pour perfo-
rer le papier.

Paratonnerre à pointes. — Dans les bureaux télégraphiques de l'Etat on emploie deux sortes de paratonnerres, le paratonnerre à pointes, destiné à rece-

voir les décharges, auquel on n'a presque jamais à toucher, et qui peut être placé à l'entrée des bureaux, et le commutateur ou paratonnerre à fil préservateur. La fig. 14 donne la vue du paratonnerre à pointes mobiles, modèle de l'Administration française. Il se compose de deux lames métalliques isolées l'une de l'autre, fixées sur un même socle en bois et maintenues à l'écartement voulu par une tige d'ivoire. L'une des

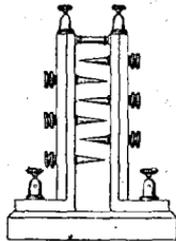


Fig. 14. — Paratonnerre à pointes mobiles.

ces lames communique avec la terre, l'autre avec la ligne et avec le fil qui va aux tables de manipulation. Chaque montant porte trois pointes à vis, qu'on peut avancer de façon que leur extrémité se trouve à une distance infiniment petite de l'autre lame. Pendant les orages on voit les étincelles éclater entre les extrémités des pointes et les lames de cuivre.

Paratonnerre à fil préservateur. — Ce paratonnerre se compose d'une bobine de fil recouvert de soie passant dans trois viroles fixées sur trois lames communi-
quant respectivement avec la terre, les appareils et la ligne. Cette dernière lame est interrompue et porte un commutateur. En plaçant convenablement ce commutateur, le courant de ligne va directement à l'appareil sans traverser le fil préservateur. En plaçant verticalement ce commutateur le courant passe par le fil préservateur avant d'arriver aux appareils; enfin, quand on met le commutateur dans une position symétrique de la première, la ligne se trouve en communication avec la terre.



Fig. 15. — Paratonnerre Bertsch.

Paratonnerre Bertsch. — Outre les paratonnerres qui sont disposés dans l'intérieur du poste télégraphique, on en place quelquefois à l'extérieur, par exemple dans les contrées exposées à de violents orages. Le meilleur type de paratonnerre pour l'extérieur est le paratonnerre Bertsch, employé par l'Administration des Postes et Télégraphes français. Il se compose de deux plaques parallèles en cuivre, placées en regard et armées chacune de 300 pointes (fig. 15). Ces pointes forment des rangées parallèles, et chacune d'elles regarde la pointe correspondante de l'autre plaque. Les deux sont séparées par un intervalle de 0^m,001. Les plaques sont renfermées dans une boîte en fonte dont

l'un des côtés est formé d'une vitre épaisse mastiquée qui permet de vérifier l'état de l'instrument. L'une des plaques, reliée à la ligne, est isolée de la boîte; l'autre communique avec cette boîte à laquelle est soudé le fil de terre.

La fig. 15 donne la vue d'un paratonnerre Bertsch

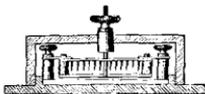


Fig. 15. — Paratonnerre Bertsch, pour l'intérieur.

modifié en vue de son emploi à l'intérieur. Dans ce modèle il n'y a qu'une seule plaque munie de pointes; l'autre plaque est séparée par une feuille de papier paraffiné d'une troisième plaque en communication avec la terre.

Paratonnerre à plaques striées. — Cet appareil se compose essentiellement de deux plaques métalliques écartées très faiblement entre elles; les faces de ces plaques qui se regardent sont gravées profondément de manière à présenter une série de rainures angulaires. Les rainures de l'une des plaques sont placées dans des plans perpendiculaires à ceux des rainures de l'autre plaque. Chaque point de croisement des rainures transversales d'une plaque avec les rainures longitudinales de l'autre peut être considéré comme deux pointes en regard ne se touchant pas et entre lesquelles l'électricité atmosphérique peut s'écouler, l'une des plaques étant reliée à la ligne et l'autre à la terre.

Paratonnerre à vide du Post-Office. — Il se compose d'une ampoule cylindrique de verre dans laquelle pénètrent deux fils de platine fondus dans le verre même pour établir un joint étanche et terminés par deux pointes métalliques en regard. On fait le vide par une ouverture que l'on scelle ensuite à la lampe.

Paratonnerre à plaques ou à cylindres de MM. Siemens et Halske. — Il se compose de deux plaques de métal massives et recouvertes d'une petite couche de vernis; on les applique l'une sur l'autre et elles ne sont séparées que par de petites bandes de caoutchouc vulcanisé qui ménagent une mince couche d'air entre les surfaces en regard. La lame d'air peut être remplacée par une feuille de gutta-percha, de mica ou de papier paraffiné. Au lieu de deux plaques on peut employer deux cylindres concentriques.

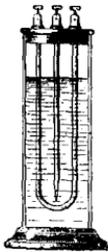


Fig. 17. — Paratonnerre à alcool.

deux pointes, ce mélange devient incandescent et conducteur.

Paratonnerre à alcool de M. Pouget-Maison-neuve (fig. 17). — Il est formé d'un tube de verre rempli d'alcool et traversé par deux fils dont l'un

doit être mis en communication avec la terre et l'autre avec la ligne. L'alcool n'est pas sensiblement conducteur lorsque l'électricité n'a qu'un faible potentiel, tel que celui qui est développé par les piles électriques des bureaux télégraphiques, et cesse d'isoler lorsque ce potentiel s'accroît subitement, ainsi qu'il arrive en cas de décharge produite par les orages. Mais cet instrument présente un grave inconvénient: l'alcool peut s'enflammer; aussi ne l'a-t-on pas adopté en pratique.

PARÉLECTRONOMIQUE. — *Physiol.* Expression employée par le Dr du Bois-Raymond pour désigner une partie du tissu qui enveloppe un muscle et dont la fonction électromotrice étant de sens contraire à celle du muscle lui-même annule complètement cette dernière.

PARKÉSINE. — Substance isolante, ainsi nommée du nom de son inventeur M. Parkes; elle est formée de fulmicoton et d'huile de ricin.

PARLEUR ou SOUNDER. — Appareil destiné à recevoir les dépêches télégraphiques au son. Ce mode de réception et ce genre d'appareil sont surtout employés en Amérique et en Italie (v. TÉLÉGRAPHES, *Appareils acoustiques*). On trouvera aussi au mot TÉLÉGRAPHES MILITAIRES la description d'un parleur de petites dimensions imaginé par M. Trouvé.

PATTE GALVANOSCOPIQUE. — *Physiol.* Les nerfs de la grenouille sont très excitables électriquement et ils continuent à l'être longtemps après la mort de l'animal. On utilise souvent cette propriété dans les laboratoires de physiologie, notamment en employant la *grenouille ou patte galvanoscopique*. Pour l'obtenir, on commence par préparer une grenouille suivant le procédé de Galvani: d'un seul coup de ciseaux on coupe transversalement une grenouille vivante au niveau de l'union des deux tiers antérieurs avec le tiers postérieur du tronc. Il reste le bassin avec un bout de rachis et les pattes de derrière. On enlève la peau, puis on passe une branche des ciseaux entre les nerfs lombaires et le bassin, et on coupe celui-ci en deux endroits. Les membres postérieurs ne sont plus unis au segment de colonne vertébrale que par les nerfs. Le fragment de grenouille ainsi préparé peut servir à répéter les expériences de Galvani et une foule d'autres. On coupe alors les nerfs au niveau des vertèbres et on sépare les deux cuisses. Le nerf de l'une d'elles étant soulevé jusqu'à un genou, on la détache d'un coup de ciseaux. De cette façon on a plus que la jambe suspendue à un long cordon nerveux. C'est la patte galvanoscopique. On l'introduit dans un petit tube à expérience, qui sert à la manier; le nerf est libre au dehors. Si on fait traverser une portion de ce nerf par un courant faible, on constate que la moindre variation d'intensité est accusée par une contraction brusque des muscles du mollet et l'extension du pied. On a ainsi un véritable GALVANOSCOPE, dont les indications sont visibles à distance et dont la sensibilité est telle que des différences de 1/200 de volt sont indiquées sûrement. Le réactif est plus sensible, mais certainement moins commode.

PÊCHE (Application de l'électricité à la). — Procédé consistant à utiliser le courant électrique fourni par une PILE et une BOÎTE D'INDUCTION pour enflammer sous l'eau une cartouche de dynamite et produire ainsi une explosion à la suite de laquelle les poissons qui se trouvent dans le voisinage sont tués

ou étourdis. Ce procédé de pêche est interdit en France. Un autre procédé consiste à descendre sous l'eau une lampe à INCANDESCENCE dont l'éclat attire les poissons et permet de les capturer plus facilement.

PÉCITE (de l'ital. *pece*, poix). — Matière isolante, utilisée par M. Palmieri et dans les stations météorologiques italiennes. C'est un mastic formé de deux tiers de poix grecque et d'un tiers, en poids, de plâtre calciné désigné en italien par le mot « scagliola » : ce n'est pas du plâtre naturel, mais du plâtre qui, porté à une température élevée, a perdu la moitié de son eau, et qui, jeté ensuite rapidement dans l'eau elle-même, durcit en reprenant le liquide perdu, ce qui l'a fait nommer en Italie « plâtre de prise ». Le mastic ainsi obtenu forme, à chaud, une masse pâteuse, qu'il faut agiter sans cesse avec une spatule jusqu'à ce que l'on possède une pâte bien homogène. On laisse alors refroidir quelque peu la substance et, suivant les besoins, on la coule dans des moules ou on l'applique encore visqueuse sur la pièce à isoler. Elle n'a pas la consistance de l'ébonite et ressemble plutôt à la cire d'Espagne; mais on peut, avec quelque précaution, la travailler au tour et la polir. Elle offre alors l'apparence de l'ambre légèrement teinté de bistre. Son pouvoir isolant est supérieur à celui de l'ébonite, son prix de revient est presque nul; la chaleur assez élevée ou une humidité considérable ne lui font pas perdre sa vertu isolante. C'est au parfait isolement obtenu avec cette matière que M. Palmieri attribue la supériorité de son excellent ÉLECTROMÈTRE de l'observatoire du Vésuve. (P. Marcillac, la *Lumière électrique*, n° du 27 août 1885.)

Pécellet (Jean-Claude-Engène), physicien français, né à Besançon en 1793, mort à Paris en 1857. En sortant de l'École normale, il alla professer les sciences physiques au collège de Marseille (1816), puis revint à Paris et devint successivement maître de conférences à l'École normale, professeur de physique à l'École centrale des arts et manufactures, dont il avait été un des principaux fondateurs, inspecteur de l'académie de Paris et inspecteur général des études (1840). A la suite du coup d'État du 2 décembre 1851, Pécellet se démit de ces dernières fonctions. Ses ouvrages, écrits avec clarté et remplis de vues judicieuses, ont joui d'une réputation méritée. Nous citerons : *Cours de Chimie* (Marseille, 1823-1826, 4 vol.); *Cours de Physique* (Marseille, 1823-1826, 2 vol. in-8°); *Traité de l'Éclairage* (Paris, 1827, in-8°); *Traité de la Chaleur et de ses applications aux arts et aux manufactures* (Marseille, 1829, 2 vol. in-8°), avec atlas, ouvrage qui a été entièrement refondu en 1843 (2 vol. in-8°) et traduit en allemand. On lui doit, en outre, des mémoires insérés dans les *Annales de Mathématiques*, dans les *Annales de Physique et de Chimie*, etc.

PÉDALE. — Expression impropre dont on se sert pour désigner des commutateurs établis sur les voies ferrées et mis en action par les trains en marche. Les pédales constituent le principal organe de l'automatisme (v. BLOCK-SYSTEM AUTOMATIQUE). Jusqu'à présent on n'a admis cet organe qu'avec une grande défiance, justifiée d'ailleurs par de nombreux in-succès.

Parmi les pédales dans lesquelles le contact électrique dépend du mouvement d'un levier dont l'une des branches est abaissée par les roues des véhicules du train, nous citerons : la *pédale à soufflet du chemin de fer du Nord*; la *pédale Loiseau et Leblanc*,

la *pédale Hetter*, la *pédale Hall*, la *pédale Sch* qui sont pourvues d'organes modérateurs consistant en soufflets ou en ressorts; les dispositions sont éférentes mais le principe est le même. Nous signalerons aussi la *pédale à air comprimé de Siemens Hatzke*, la *pédale à mercure du chemin de fer Nord*, composée d'une sorte de balance pouvant osciller autour d'un axe perpendiculaire au rail : l'une de ses extrémités de cette balance est rencontrée par le boudin des roues, l'autre porte un commutateur mercure analogue à celui des appareils construits par M. Siemens et MM. Saxby et Farmer et construit des pédales établies sous le rail et fonctionnant par dépression de ce dernier lors du passage du train. Nous citerons encore l'appareil de M. Lavig et Forest, à l'aide duquel on actionne les *SIGNALS ÉLECTRO-AUTOMOTEUR*, et nous signalerons enfin un dispositif de M. Ducoussou dans lequel c'est la présence des parties métalliques d'un train et surtout des roues qui, sans aucun choc, sans aucune action mécanique détermine la production d'un courant électrique qu'on peut utiliser. On fixe au rail un ÉLECTRO-AIMANT Hughes disposé de telle façon que les bobines soient effleurées par le bandage des roues des voitures l'approche brusque de cette puissante masse métallique modifie instantanément le magnétisme de l'aimant et par suite détermine dans les bobines un courant d'induction qui produit un déclenchement ou actionne les RELAIS d'une SONNERIE.

PEIGNE. — Plaque métallique terminée par un série de pointes constituant un des organes des PARATONNERRES télégraphiques.

Peltier (Jean-Charles-Athanase), savant français, né à Ham (Somme) en 1785, mort à Paris en 1845. Son père, qui était sabotier, lui fit apprendre l'horlogerie et l'envoya à Paris. Il travailla longtemps pour Bréguet, se maria et, devenu maître, par suite de la mort de sa belle-mère, d'une modique fortune (1815), il s'adonna avec ardeur à son goût pour l'étude des sciences. Pendant quelque temps, Peltier s'occupa du système de Gall. Il étudia l'anatomie du cerveau et fit sur des animaux d'intéressantes recherches microscopiques; puis l'électricité devint son occupation principale et il fut amené à s'adonner d'une façon toute particulière à des travaux météorologiques. Ce remarquable savant s'éleva à l'âge de soixante ans

Il n'est pas un instrument de l'ÉLECTRICITÉ STATIQUE ou DYNAMIQUE que Peltier n'ait perfectionné et appliqué à des expériences nouvelles. L'ÉLECTROMÈTRE, la pince thermoscopique sont d'ailleurs de son invention. Le premier, il distingua, dans un courant voltaïque, la QUANTITÉ, c'est-à-dire le nombre des perturbations électriques qui parcourent un conducteur dans l'unité de temps, et l'INTENSITÉ ou la puissance que possède un courant pour vaincre la diversité du conducteur. Peltier a aussi déterminé le rapport de la CAPACITÉ électrique des métaux. Il est l'auteur d'une théorie qui fait de l'électricité un cas particulier de la gravitation et qui a eu pour résultat de ruiner les termes d'électricité positive et négative. Peltier a prouvé que les trombes étaient des phénomènes électriques. Avant lui on croyait que l'air était électrique par lui-même et d'un électro-électrique. Peltier s'attacha à démontrer par des expériences que la terre est un corps chargé d'une puissance pré-sensée et que l'espace céleste qui l'environne présente, au contraire, une puissante tension viciée. Peltier posa également les caractères différentiels des trombes et des trombes. C'est la tension libre et périodique qui, selon lui, domine dans les orages et

qui s'éteint dans les décharges de la roue. Au contraire, la tension particulière, c'est-à-dire de chaque particule du nuage, domine dans la trombe. C'est là la cause de ces attractions et de ces répulsions puissantes qui dévastent tout sur le passage des trombes. La décharge ne peut s'opérer dans la trombe qu'à l'intérieur, de groupe à groupe de particules, et non, comme dans l'orage, à la surface, de masse à masse. Milne-Edwards a rendu justice à Peltier en le plaçant au rang des Fresnel et des Dolong. On a de lui : *Observations sur les causes qui concourent à la formation des trombes* (Paris, 1840, in-8°), son principal ouvrage, et un grand nombre de mémoires insérés dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, dans les *Annales de Physique et de Chimie*, dans les *Mémoires de la Société Philomathique*, dans les *Archives d'Électricité de Genève*. Un des plus remarquables est son *Mémoire sur la Météorologie électrique* (1844).

PELTIER (Eifet). — (V. EFFET PELTIER.)

PENDULE ÉLECTRIQUE. — Instrument composé d'une boule légère de sureau ou de liège suspendue par un fil de soie à un support en substance isolante.

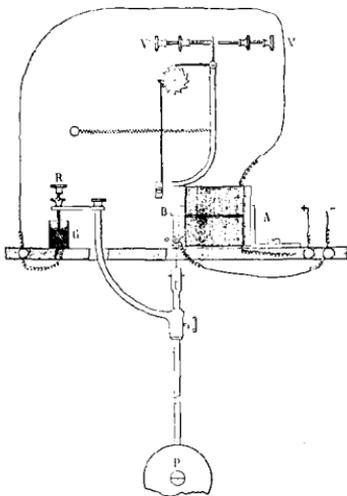


Fig. 1. — Pendule de M. Joly.

Il sert à reconnaître si un corps est électrisé et à déterminer la nature de cette électrisation. (V. ÉLECTRICITÉ, *Électrisation par influence*.)

Pendule dont les oscillations sont entretenues électriquement. — M. Joly a présenté en 1883 à l'Exposition d'électricité de Vienne, un pendule électrique dont la description a été donnée dans le *Uhrmacher Zeitung*, numéro d'octobre 1883. Le principe sur lequel s'est fondé l'auteur pour restituer au pendule l'énergie qu'il perd par les frottements de l'air et de la suspension est celui qui avait été réalisé mécaniquement par M. Guil-

met; il consiste à déplacer d'une petite quantité le point de suspension du pendule dans le plan de ses oscillations et perpendiculairement à l'action de la pesanteur. La *fig. 1* donne l'ensemble des dispositions adoptées par M. Joly : B armature, pivotée en O sur un des pôles de l'ÉLECTRO-AIMANT A, supportant d'une part le pendule P au moyen d'une lame de ressort et d'autre part un prolongement rigide se terminant entre deux vis de butée V et V' qui servent à limiter et à régler la course de l'armature et en même temps l'amplitude des oscillations du pendule. R vis de réglage, supportée par un bras latéral fixé au pendule, et servant à fermer le circuit d'une pile de quelques couples sur l'électro-aimant A à chaque oscillation double. Cette fermeture s'obtient par l'immersion de la vis R en platine ou en nickel dans un godet G plein de mercure, recouvert d'une légère couche de pétrole pour empêcher l'oxydation.

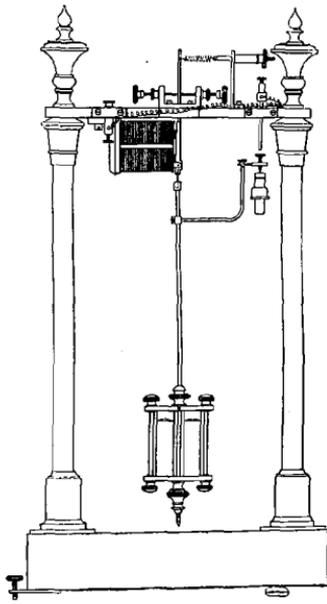


Fig. 2. — Pendule de M. Joly.

La *fig. 2* représente l'appareil tel qu'il a figuré à l'Exposition de Vienne.

M. Joly résume ainsi les avantages de son système :

« 1^o Isochronisme aussi approché que possible, les oscillations du pendule s'opèrent avec une entière liberté et proportionnellement à l'angle d'oscillation de l'armature.

« 2^o Indépendance de l'intensité de la source électrique, la seule condition d'être assez forte pour actionner l'armature B; on comprend, en effet, que les oscillations ne dépendent que de la course de l'armature et non de la force attractive de l'électro A.

« 3^o Suppression des organes toujours compliqués qui constituent l'échappement, et par conséquent de l'huile nécessaire aux parties frottantes : on sait les perturbations que produit cette substance dans la marche des horloges.

« 4^o Simplicité de construction.
 « 5^o La transmission de l'heure peut se faire à la manière ordinaire des COMPTEURS ELECTRO-CHRONOMETRIQUES en usage, le prolongement de l'armature B pouvant servir de ARLAIS pour envoyer le courant sans pour cela troubler en rien la marche du pendule. »

M. Carpentier, pour arriver au même résultat, a eu recours à un moyen qui semble bien remplir le but et qui consiste à déplacer périodiquement d'une petite

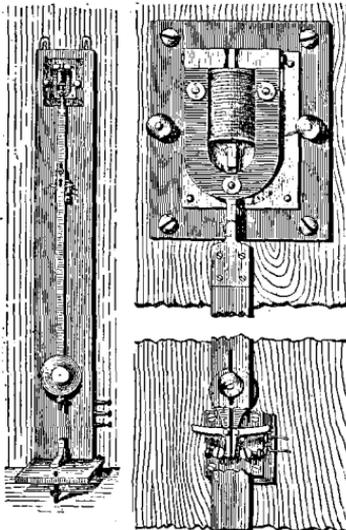


Fig. 9. — Pendule de M. Carpentier.

quantité le point de suspension du pendule, horizontalement et dans le plan des oscillations.

La tige du pendule est suspendue, par l'intermédiaire d'une lame de ressort très mince et très souple formant articulation, à l'armature mobile d'un relais polarisé qui fait partie du bâti supportant le pendule. La forme du relais a peu d'importance ; l'essentiel est que, sous l'influence d'un courant périodiquement inversé, l'armature oscille entre deux butées, dont on peut régler à volonté l'écartement, et entraîne le point de suspension du pendule tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. C'est l'imitation du mouvement que l'on est conduit à faire, quand, tenant à la main un cordon auquel est suspendu un corps lourd, on cherche à faire naître ou à conserver les oscillations de ce pendule improvisé. Notons que le déplacement du point de suspension a lieu perpendiculairement à l'action de la pesanteur et que sa grandeur ne dépend pas de l'intensité du courant qui fait fonctionner le relais.

L'inversion périodique du courant est produite par

un COMMUTATEUR monté sur le bâti qui supporte le pendule et dont la manœuvre commandée par le pendule lui-même est due à l'attraction à distance qui s'exerce entre un petit AIMANT fixé à la tige du pendule, et entraîné dans son mouvement, et une pièce de FER DOUX fixée au commutateur, et une pièce de fer doux à la forme d'un arc de cercle dont le centre coïncide avec l'axe de suspension du pendule ; aussi l'aimant se maintient en face d'elle sans que la petite distance qui les sépare varie sensiblement. L'arc en fer est monté, en son milieu, sur un axe placé au centre de symétrie de l'appareil, et, tandis que le point d'application de l'attraction passe alternativement de part et d'autre de l'axe, la pièce exécutée une série de mouvements de bascule synchroniques avec ceux du pendule. Ces mouvements, réduits à des imperceptibles au moyen de butées convenablement disposées, suffisent, par des changements de contacts, à inverser le courant. Quant à la réaction produite sur le pendule par l'axe de fer doux du commutateur, il est évident que, sensiblement normale à cet arc, elle passe par la suspension que l'on peut considérer comme fixe, et que son influence est ainsi presque nulle.

Comme on le voit, le pendule est libre, dans l'espace, de tout lien matériel avec les corps extérieurs. Il n'y a qu'une connexion magnétique entre lui et l'arc. Cette connexion absorbe un peu d'énergie ; mais la perte est tout à fait négligeable en comparaison de celles qui sont produites par le frottement de l'air et les résistances de la suspension. Pour donner une idée exacte du résultat obtenu par M. Carpentier, il suffira de dire que le pendule présenté par lui à la Société internationale des Electriciens (séance de juin 1887), s'entretenait moyennant un déplacement du point de suspension de 0^m,0002 par oscillation.

PERCE-CARTE. — (V. PERFORATEUR.)

PERCE-VERRE. — (V. PERFORATEUR.)

PERD-FLUIDE. — Conducteur souterrain d'un PARATONNERRE.

PERFORATEUR ÉLECTRIQUE. — On désigne sous ce nom plusieurs genres d'appareils :

Perforateur électrique, appelé aussi perce-verre ou perce-carte, se compose de deux tiges terminées par des pointes placées en regard. En mettant entre ces deux pointes une plaque de verre ou de carton, et en faisant jaillir entre elles une ÉTINCELLE produite, soit par une forte bobine d'INDUCTION, soit par une BATTERIE ÉLECTRIQUE, on perce le verre ou le carton.

Perforateur pour mines. — La barre de mine ou fleur est commandée directement par un moteur électrique Gramme ou Siemens. Ces outils sont appelés aussi PERFORATRICES.

Perforateur Wheatstone. — Organe du télégraphe automatique de Wheatstone destiné à préparer, en les perforant, les bandes de papier que l'on fait passer ensuite dans le transmetteur. (V. TÉLÉGRAPHIE.)

Perforateur de M. Carpentier. — Appareil à poinçons manœuvrés à la main pour transformer en bande de carton perforé la bande de papier imprimée sortant du MÉLOGRAPHÉ. On colle la bande du métrographe sur une bande de papier fort, de telle sorte que la bande ainsi obtenue et perforée présente une rigidité suffisante pour actionner le MÉTROGR. Ce

perforateur n'est manœuvré à la main qu'une seule fois pour un même morceau de musique; lorsque ce morceau doit être reproduit à un grand nombre d'exemplaires, M. Carpentier a combiné un perforateur automatique mécanique qui reproduit indéfiniment le même morceau en se servant de la première perforation comme gabarit. Les bandes ont 0^m,42 de largeur et leur longueur dépend du morceau à jouer dans le métrotape. Le déroulement se fait à raison de 3 mètres par minute.

PERFORATRICE ÉLECTRIQUE.—Nom sous lequel on désigne les outils de tous genres servant à perforet et qui sont actionnés par un moteur électrique au lieu de l'être par un moteur à vapeur, à eau ou à air comprimé.

PÉRIODE VARIABLE.—Nom donné à la période qui précède celle du régime permanent dans un circuit parcouru par un courant et dans lequel est intercalé un ÉLECTRO-AIMANT. Lorsque le courant est lancé dans le circuit, il se produit dans l'électro un courant de SELF-INDUCTION de sens contraire, lequel retarde l'établissement du régime permanent.

On admet pour représenter la période variable d'un courant dans un circuit d'éprouve de fer la formule

$$i = I(1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

dans laquelle i représente l'intensité du courant au temps t , I son intensité finale, R la résistance totale du circuit et L le coefficient de self-induction. Mais cette formule n'étant plus applicable lorsque le circuit renferme un électro-aimant, même dans le cas où l'aimantation est proportionnelle à l'intensité du courant, M. Leduc a établi la nouvelle formule suivante :

$$(E - Ri) dt = \phi_i,$$

dans laquelle E est la FORCE ÉLECTROMOTRICE de la pile, et ϕ le flux de force totale traversant le circuit à un moment donné. (*Académie des Sciences*, 31 janvier 1887.)

PERMANENT (État).—(V. ÉTAT ÉLECTRIQUE.)

PERMÉABILITÉ MAGNÉTIQUE.—Valeur de l'INDUCTION totale dans un CHAMP égal à l'unité.

N'étant le nombre de tubes d'induction qui traversent l'unité de section d'un corps quelconque situé dans un champ magnétique, et H étant l'intensité du champ au point où est situé le corps au moment où celui-ci n'y était pas encore plongé, la perméabilité magnétique s'exprime mathématiquement par le rapport $\frac{N}{H}$. La perméabilité magnétique n'est autre que la conductibilité du milieu considéré pour le flux d'induction. (V. MAGNÉTISME, Théorie.)

La perméabilité magnétique de l'air et du vide est constante et égale à l'unité; celle des métaux non magnétiques est aussi sensiblement égale à l'unité.

Pour les métaux magnétiques la perméabilité est fonction de l'INDUCTION spécifique et de la force magnétisante. M. Sheiford Bidwell a trouvé que, lorsque cette force magnétisante était inférieure à 4 unités CGS, la perméabilité magnétique (qui est un rapport et dont la valeur numérique ne dépend pas, par conséquent, de la nature des unités adoptées) était voisine de 2.000; que si on augmentait la force magnétisante ou l'intensité H du champ qui la produit, on diminuait la valeur du rapport $\frac{N}{H}$, qui pour le fer doux placé dans un champ de 585 unités CGS de

vient égal à 33,9. D'après MM. Ewing et Lowr, la perméabilité magnétique n'est plus que de 3 ou 4 dans les champs très intenses.

Nous citerons également les expériences de M. Hopkinson, dont on trouvera la relation dans la *Lumière électrique*, n° 7, année 1887. Ce savant a étudié un grand nombre d'échantillons de métaux de composition différente. Il a constaté ainsi que les aciers magnésifères ont une faible perméabilité magnétique. Dans ce cas l'induction est, d'une manière très approchée, proportionnelle à la force magnétique, et on peut donner alors les valeurs de la perméabilité et de la SUSCEPTIBILITÉ ou coefficient d'aimantation induite.

Voici quelques exemples tirés de l'étude de M. Hopkinson.

	Perméabilité.	Susceptibilité.
Acier manganifère Hadfield trempé à l'huile.	4,27	0,0215
Acier manganifère sortant de forge.	3,59	0, 2160
Acier manganifère trempé à l'huile.	3,57	0,2046
Spiegelstein très dur.	1,84	0,0668

Si on désigne par K le coefficient $\frac{N}{H}$ et par m le coefficient de susceptibilité magnétique, on a la relation $K = 4 + 4\pi m$. (V. MAGNÉTISME.)

PERMISSIF.—Épithète qui ajoutée au mot BLOCK-SYSTEM désigne un ensemble de règles en vertu desquelles les trains sont autorisés à entrer sans s'arrêter dans une section bloquée.

PERMUTATEUR.—Nom sous lequel on désigne quelquefois un COMMUTATEUR.

PERTE A LA TERRE.—Nom sous lequel on désigne un DÉRANGEMENT de ligne ou d'appareil et qui résulte d'une communication accidentelle avec la terre.

PERTE DE CHARGE.—Le courant, en circulant dans une CANALISATION ÉLECTRIQUE, subit une perte de charge qui varie de 5 à 15 %; moyenne 10 %; ainsi répartie : 5 % dans les câbles principaux, 2 % dans les conducteurs intermédiaires, 2 % dans les fils de dérivation.

PERTE DE COURANT.—DÉRANGEMENT produit soit par la rupture d'un conducteur électrique qui vient alors au contact de la terre, soit par le contact de ce conducteur avec un corps pouvant donner passage au courant.

PERTURBATION MAGNÉTIQUE.—Variations anormales de la DÉCLINAISON; lorsque ces variations sont très importantes elles consistent ce qu'on appelle un *orage magnétique*.

PÉTROLE.—Essai du pétrole au moyen de l'électricité.—L'éthincelle électrique est utilisée en Amérique pour déterminer le point d'inflammabilité du pétrole. L'appareil Seybold, qui sert à cet essai, se compose d'un petit réservoir chauffé au bain-marie et de deux tiges de cuivre venant aboutir à une hauteur fixe au-dessus du niveau du liquide. Un thermomètre plongeant dans le pétrole indique la température. A chaque degré ou demi-degré on appuie sur un bouton qui, en faisant passer le courant

d'une pile au bichromate dans le circuit primaire d'une bobine d'induction, fait jaillir une étincelle entre les deux lames de cuivre qui font partie du circuit induit. L'étincelle électrique appliquée à un appareil à vase clos donnerait des indications plus précises; en effet, dans les appareils à vase ouvert, les vapeurs du péroxyde se refroidissent et se dissipent dans l'air.

PHARE ÉLECTRIQUE. — Phare éclairé au moyen d'un foyer électrique. (V. ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE, Éclairage des phares; MACHINE MAGNÉTO-ÉLECTRIQUE, Machine Méritens; RÉGULATEUR.)

PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES. — (V. CAPILLARITÉ.)

PHÉNOMÈNE DE HALL. — (V. la définition et l'explication de ce phénomène au mot HALL [Phénomène de].)

M. A. Leduc, en étudiant sur le bismuth le phénomène de Hall, a constaté (9 avril 1884) l'augmentation de résistance électrique offerte par ce métal dans un champ magnétique. Persuadé que les modes de propagation de la chaleur et de l'électricité offrent plus d'un point de ressemblance, M. Leduc supposa que la conductibilité calorifique du bismuth devait diminuer dans un champ magnétique aussi bien que la conductibilité électrique et que les lignes isothermes d'un flux de chaleur traversant ce métal devaient s'incliner sous l'influence du champ comme les lignes ÉQUIPOTENTIELLES. L'expérience a confirmé les prévisions de M. Leduc. Ces nouveaux phénomènes se présentent dans les mêmes conditions, avec la même intensité que leurs analogues en électricité. M. Leduc pense qu'il y a au moins proportionnalité entre eux, et, s'il en est ainsi, l'étude de la variation de la conductibilité calorifique d'un métal quelconque sera très

déliée. Elle sera cependant possible par l'application de la méthode suivie par M. Leduc pour le bismuth. (V. *Lumière électrique*, n° 28, t. XXV.)

« MM. d'Étinghausen et W. Nernst ont exécuté des mesures avec un certain nombre de substances en vue de déterminer le pouvoir de rotation et notamment en relation avec l'intensité du champ magnétique. Ils ont constaté que, pour les faibles intensités, ce pouvoir augmente tout d'abord avec quelques métaux, puis diminue notablement pour les forces plus grandes. Avec le bismuth, il diminue plus rapidement que l'intensité du champ augmente, de sorte que, dans le cas d'intensités très fortes, l'accroissement de l'énergie du champ entraîne un abaissement de la force ÉLECTROMOTRICE de l'effet transversal. Le tellure et le cadmium possèdent ce que l'on appelle un « pouvoir positif de rotation ». Le tellure présente cette propriété à un degré tout à fait exceptionnel, environ quarante fois plus fort que le bismuth. » (*Académie des Sciences de Vienne* [Autriche].)

PHÉNOMÈNE PELTIER. — (V. EFFET PELTIER.)

PHÉNOMÈNE THOMSON. — (V. EFFET THOMSON.)

PHONE (du grec *phônè*, son). — Récepteur phonique employé par M. Edison pour la transmission simultanée de deux dépêches sur une même ligne télégraphique, système auquel il a donné le nom de *PHOENIX*. Le phone (fig. 2, page 602) est une sorte de TÉLÉPHONE construit de façon à produire un son caractéristique chaque fois qu'il est traversé par l'extra-courant de rupture ou de fermeture d'une bobine d'INDUCTION.

PHONOGRAPHE (du grec *phônè*, voix; *graphein*, écrire). — Appareil à l'aide duquel on enregistre les

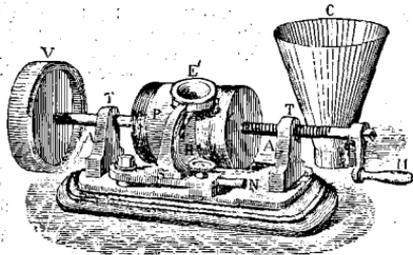


Fig. 1. — Phonographe (vue perspective).

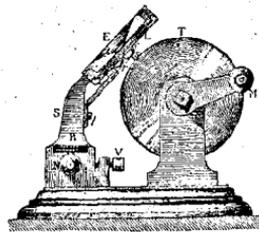


Fig. 2. — Phonographe (coupe transversale).

diverses vibrations déterminées par la parole sur une lame vibrante, et on reproduit la parole d'après les traces enregistrées.

Les fig. 1 et 2 donnent une vue du phonographe d'Edison : la première représente l'ensemble de l'appareil; la seconde, une coupe transversale par le milieu. Un cylindre P monté sur un axe AA, muni d'un pas de vis pour lui faire accomplir un mouvement de translation horizontal, tourne sous l'action d'une manivelle M. Le cylindre enregistreur P présente à la surface une petite rainure hélicoïdale dont le pas est exactement le même que celui de la vis et qui est parcourue par la pointe trépanée qui s'y trouve engagée. La surface du cylindre est recouverte d'une feuille d'étain ou de

cuivre d'étain très mince. La pression de la pointe trépanée sur la feuille est obtenue à l'aide de la vis R et du levier S manœuvré par la poignée N. Le système parleur se compose d'une lame vibrante L, munie antérieurement d'une embouchure de téléphone E et postérieurement d'une pointe trépanée s'portée par un ressort r; un tampon de caoutchouc c interposé entre la pointe et la lame sert à transmettre les vibrations pendant qu'un autre tampon sert à les atténuer un peu, afin qu'elles ne soient pas trop fortes.

Pour faire fonctionner l'appareil, on parle dans l'embouchure E avec une voix forte et accentuée; on fait tourner en même temps le cylindre, dont le mou-

vement est régularisé par le volant V. Sous l'action de la voix, la lame L vibre et entraîne dans ses mouvements oscillatoires la pointe traçante, qui détermine sur la feuille d'étain un gaufrage plus ou moins accidenté, selon l'amplitude et les inflexions de la vibration; la pointe trace ainsi une hélice gaufrée, de façon que, lorsqu'on a fini de prononcer une phrase, le dessin pointillé que l'on a obtenu représente cette phrase elle-même traduite en points. Il n'y a plus qu'à détacher la feuille, qui pourra être conservée pour reproduire plus tard la phrase inscrite.

Le phonographe ne comporte en lui-même l'emploi d'aucun organe électrique; c'est un appareil essentiellement mécanique, qui n'a été l'objet d'aucune application pratique jusqu'en 1888, date à laquelle

M. Edison l'a perfectionné en vue de lui faire rendre de réels services. Dans le nouveau modèle, la feuille d'étain est remplacée par un cylindre en cire durcie et l'appareil a les dimensions d'une machine à coudre ordinaire. L'axe principal, solidaire du cylindre inscripteur, tourne simplement dans deux paliers sans se déplacer longitudinalement; c'est l'embouchure et le diaphragme qui se déplacent. Derrière le cylindre de cire durcie se trouve un chariot portant l'embouchure, la membrane et le stylet. La fig. 3 donne la vue de l'appareil. On aperçoit à droite un bras articulé sur lequel on peut à volonté placer deux diaphragmes, l'un pour l'inscription, l'autre pour la reproduction de la parole.

L'appareil reproducteur comprend un diaphragme

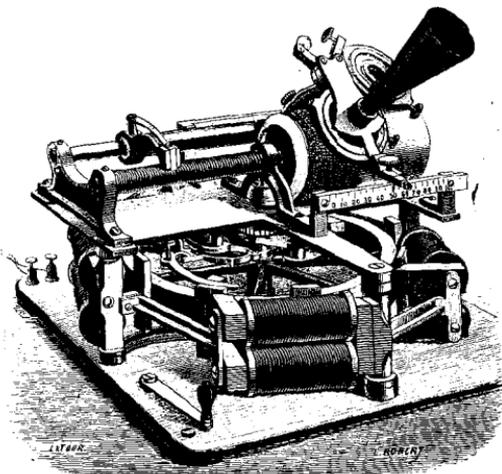


Fig. 3. — Nouveau Phonographe d'Edison. (*Lumière électrique.*)

en baudruche au centre duquel se trouve une goupille reliée à un très fin ressort en acier dont une des extrémités est attachée au cadre du diaphragme, et dont l'autre appuie sur le cylindre en cire. L'axe fileté du phonographe est mis en rotation régulière au moyen d'un moteur électrique placé sous l'appareil et actionné par le courant d'un ou deux couples de pile. Ce moteur est pourvu d'un régulateur qui maintient la vitesse très sensiblement uniforme. Le mouvement est transmis de l'arbre du moteur à l'axe fileté par une paire de roues coniques de friction. Le bras qui supporte les diaphragmes est muni d'un outil qui sert à égaliser la surface du cylindre en cire avant l'inscription.

Le bon fonctionnement du nouvel appareil dépend de la perfection mécanique de toutes ses parties, de la régularité de la vitesse, de la sensibilité du cylindre en cire qui enregistre les mouvements de l'aiguille et de la délicatesse du diaphragme reproducteur. On n'a pas cherché à obtenir une reproduction très forte, mais surtout à avoir une articulation et une intonation parfaites. La couche de cire est simple-

ment fixée sur la surface d'un support métallique qui se place sur le cylindre de l'appareil. Ces cylindres ont des longueurs différentes. Les plus courts (0m,025) peuvent contenir 200 mots. (*Lumière électrique*, t. XXVII, 1888, n° 5.)

PHONOPHORE (du grec *phônê*, son; *phorô*, je porte). — Sorte de mnémotechnique constitué par deux charbons s'appuyant l'un contre l'autre; l'un d'eux est porté à l'extrémité d'un levier à contrepoids; c'est ce levier, que l'on peut déplacer, qui règle la pression du charbon mobile contre le charbon fixe. Cette disposition a été adoptée par M. Maiche pour son **ELECTROPHORE**.

PHONOPLEX ou **WAY-DUPLEX**. — Système télégraphique imaginé par M. Edison pour permettre d'appliquer sur les lignes télégraphiques des chemins de fer la transmission en **DUPLEX** ou en **TRIPLEX**, sans avoir besoin de donner aux différents tronçons de ligne successifs les mêmes qualités électriques, négligeance, CAPACITÉ et ISOLEMENT qui sont indispensables pour ces genres de transmissions. Le système est basé sur

le même principe que celui des transmissions télégraphiques et téléphoniques simultanées de M. Van Ryselberghe (V. TÉLÉPHONIE A LONGUE DISTANCE). On emploie deux récepteurs embrochés dans le même circuit: l'un agit comme RELAIS ordinaire et commande un SOUNDER ou PARLEUR; l'autre, appelé PHONE, donne un son particulier et constitue par conséquent son propre sounder. Les ruptures de

courant qui agissent sur le sounder sont graduées et inaudibles au phone qui, lui, est actionné par des EXTRA-COURANTS de rupture et de fermeture d'une BOBINE.

Voici la disposition et le mode de fonctionnement d'un poste monté en phonoplex, d'après les renseignements donnés par les journaux américains.

Le circuit du Morse comprend, comme d'ordinaire,

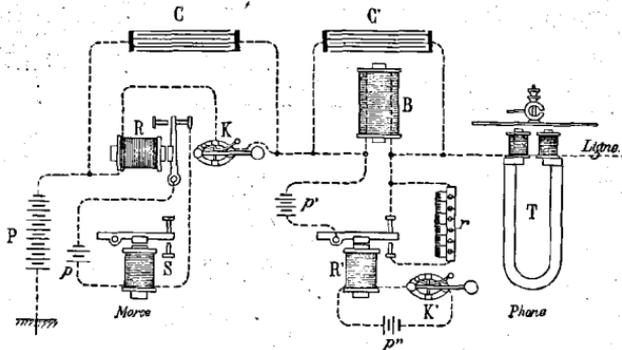


Fig. 1. — Schéma d'un poste monté en phonoplex.

un relais R, un sounder S et un manipulateur ou clef Morse K (fig. 1). Un condensateur C est placé en dér-

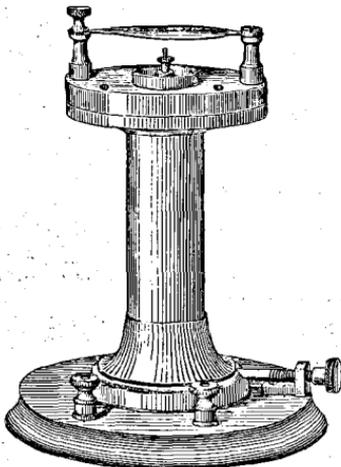


Fig. 2. — Phone.

vation entre la sortie de la bobine du relais R et l'entrée de la clef K. Il est utile de faire remarquer qu'en Amérique les appareils sont montés en circuit

fermé, contrairement à la méthode usitée en France, c'est-à-dire que le courant de la pile P du poste circule constamment dans la ligne et que la manœuvre de la clef a pour effet de produire des interruptions de courant, tandis qu'en France on produit une émission de courant chaque fois qu'on abaisse le manipulateur.

Le circuit du phone se compose d'un téléphone T, d'une construction spéciale et du fil d'une bobine B, entre les extrémités de laquelle est monté un condensateur C'. Dans le circuit se trouve aussi une clef K' qui permet de fermer, par l'intermédiaire de l'électro-aimant R', le circuit de la pile P' sur la bobine B à travers une résistance r.

Quand le Morse ne fonctionne pas, la ligne est en communication avec la terre à travers le phone T, la bobine B, la clef K, le relais R et la pile P, et le condensateur C forme un pont entre la clef K et le relais R. Si maintenant on abaisse la clef K', le courant de la pile P' passe dans l'électro R', le circuit de la bobine B se trouve rompu et il se produit un extra-courant énergique, mais dont la faible durée se trouve encore diminuée par le condensateur C'. Ce courant, qui n'a aucune influence sur les relais R, agit sur les phones des deux postes en correspondance et produit un clic particulier. Il est vrai que lorsqu'on rompt le circuit de la bobine B on donne naissance à deux extra-courants, l'un de rupture, l'autre de fermeture; mais ce dernier est diminué par la résistance r, et comme d'ailleurs il se produit presque simultanément avec le premier, le bruit qu'il provoque dans les phones se confond avec celui occasionné par l'extra-courant de rupture. Quand on lâche le levier K', on produit deux extra-courants successifs de sens inverse; c'est le premier qui est faible et le second qui est énergique; on perçoit alors dans le phone un bruit qu'il est facile de distinguer de celui qui résulte de l'abaissement de la clef. Ces

effets se produiraient alors même que, la clef K étant abaissée, le circuit serait rompu à travers le relais R; car dans ce cas le courant phonique, en raison de son haut potentiel, se fermerait par le condensateur C.

Le relais R et la bobine B de chaque poste agissent comme *graduateurs* des courants du télégra-

phe Morse au moment de la rupture du circuit pour l'émission d'un signal. Ces courants télégraphiques sont rendus ainsi *inaudibles* au phone, et cette graduation ne retarde pas sensiblement la vitesse de la transmission. On peut graduer la résistance r de façon à obtenir dans le phone des bruits d'une inten-

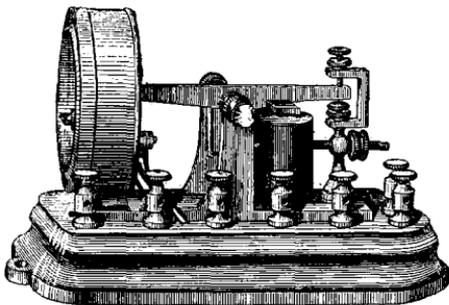


Fig. 3. — Vue de l'Electro transmetteur R.

sité déterminée. Le système permet d'envoyer simultanément, à volonté, deux dépêches dans le même sens ou deux dépêches en sens inverse; il est donc **DUPLEX** ou **DIPLEX**.

Le phone (fig. 2) se compose d'un aimant en fer à cheval contenu dans l'intérieur d'une colonne en



Fig. 4. — Bobine B.

laiton, et dont chacune des deux branches porte une bobine; en face de ces bobines se trouve une membrane munie en son centre d'une tige filetée avec écrou



Fig. 5. — Boîte de résistances r .

et contre-écrou. Sur ce diaphragme repose un anneau d'acier fendu suivant une génératrice et percé d'un trou qui donne passage à la tige filetée. Quand la membrane est attirée, elle entraîne la tige, l'écrou vissé sur cette dernière vient frapper l'anneau d'acier et produit ainsi un bruit particulier et énergique. Les bobines peuvent être rapprochées ou éloignées de la membrane à l'aide d'une crémaillère et d'un pignon; enfin l'appareil est protégé par une traverse supérieure en laiton.

La fig. 3 donne la vue de l'Electro transmetteur R;

la fig. 4, la vue de la bobine B; la fig. 5, la vue de la boîte de résistances r , et enfin la fig. 6, la vue du manipulateur ou clef Morse. Cette clef est disposée, comme toutes les clefs Morse du modèle américain, de façon que lorsque le levier horizontal est ouvert ou poussé à droite la pile principale est introduite dans le circuit de la bobine magnétique B, circuit complété par les pointes du transmetteur R', et que

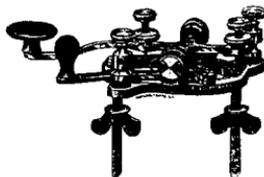


Fig. 6. — Manipulateur ou clef Morse.

lorsqu'il est *fermé* ou poussé à gauche, il ouvre le circuit de la pile et met en court circuit la bobine magnétique B. De la sorte la batterie n'est en circuit que lorsque l'appareil travaille et de plus l'électro-aimant qui nuirait à la réception des signaux est mis en court circuit à ce moment.

PHONOPORE. — Appareil imaginé par M. Langdon Davies pour transmettre et recevoir des courants téléphoniques sur un fil télégraphique sans distraire celui-ci du service télégraphique ordinaire. Le phonopore se compose simplement de deux conducteurs isolés, parallèles, enroulés ensemble sur une même bobine. La longueur des conducteurs parallèles est arbitraire; elle est d'ordinaire de 450 à 500 mètres, et le fil de chacun d'eux est généralement de n° 30 (S.W.G.) [V. JUDGE], soit d'environ 0,0631 de diamètre. Les deux fils peuvent être soit parallèles, soit

tendus ensemble; au lieu de deux, il peut y en avoir un plus grand nombre, mais le *phonopore simple* n'est constitué que d'un fil primaire et d'un fil secondaire dont l'une des extrémités seulement est reliée au fil de ligne. Ces fils jouent le même rôle que les armatures d'un condensateur. En effet, les impulsions d'un courant variable, ou vibratoire, ou alternatif, sont transmises d'un fil à l'autre sans aucune perte d'énergie apparente; par contre, les courants continus ne passent pas de l'un à l'autre. C'est grâce à cette propriété que le phonopore peut servir pour la transmission simultanée de signaux télégraphiques et téléphoniques sur le même fil, et pour la transmission simultanée sur le même fil de courants télégraphiques ordinaires et de courants télégraphiques vibratoires.

A l'aide de son appareil, M. Langdon Davies a combiné les divers systèmes de transmission simultanée suivants :

1° Transmission par télégraphe ordinaire et par téléphone;

2° Transmission par télégraphe ordinaire et par téléphone phonoporique;

3° Transmission simultanée de plusieurs dépêches différentes par le télégraphe phonoporique ou vibratoire de son invention.

PHONOSCOPE. — Nom donné à tout appareil destiné à l'étude de la voix et de ses organes, dans lequel l'électricité intervient.

PHONO-SIGNAL. — Disposition imaginée par M. Ader pour recevoir à l'oreille les signaux transmis par un câble sous-marin de grande longueur.

Lorsqu'on relie un téléphone à l'extrémité d'un câble sous-marin en fonctionnement, on n'entend absolument rien, parce que les ondes du courant, qui à chaque signal attirent et abandonnent la membrane du téléphone, ne frapperont l'oreille que si elles se succèdent avec un minimum de fronts vibratoires par seconde, et que les phénomènes de condensations ne permettent pas cette rapidité. Mettons alors entre le câble et le téléphone un organe indépendant qui coupe l'onde un grand nombre de fois par seconde; aussitôt l'onde sera changée en un son ondulé que le téléphone transmettra à l'oreille.

S'il était pratiquement possible de se servir de courants toujours de même sens et des signaux mêmes de l'alphabet Morse, le moyen le plus simple serait d'avoir un interrupteur de courant, soit par une pile locale, soit par un mouvement d'horlogerie, et un téléphone placé entre cet interrupteur et la terre; la durée relative des sons perçus indiquerait les points et les barres. Mais comme il est indispensable, à cause du rendement, d'utiliser des courants alternativement positifs et négatifs de même durée, et qu'on ne pourrait, dans le téléphone, distinguer le sens de ces courants, il a fallu recourir à un artifice: un interrupteur en mouvement envoie alternativement le courant du câble dans les deux branches d'une fourche reliées à la terre par l'intermédiaire de deux téléphones destinés l'un à l'oreille gauche, l'autre à l'oreille droite. Entre ces téléphones et la terre se trouvent intercalées deux piles montées en sens contraire, de sorte que si le courant ondulé venant du câble est positif, il sera renforcé par la pile de l'une des branches, et le téléphone correspondant résonnera; dans l'autre branche, au contraire, le téléphone restera muet, à cause de l'affaiblissement du courant ondulé par celui de la seconde pile. Si le courant venant du câble était négatif, l'effet inverse se produirait. On entend donc les signaux correspondant

aux points dans l'un des téléphones, et les signaux correspondant aux barres dans l'autre.

On a encore perfectionné ce moyen d'audition en prenant deux interrupteurs placés chacun sur une branche de la fourche et tournant à des vitesses différentes, de telle sorte que les notes perçues dans les téléphones soient très distinctes, *ut et sol* par exemple.

Le phono-signal, d'après l'inventeur, peut être installé en DUPLEX sans difficulté.

PHOSPHORESCENCE. — Propriété que possèdent certains corps d'émettre des lueurs lorsqu'on les plonge dans l'obscurité après les avoir soumis à l'action de la lumière. Certaines substances deviennent phosphorescentes par l'action de la lumière solaire ou de la lumière électrique, d'autres par l'action de l'étincelle lumineuse obtenue dans les TUBES DE GEISSER ou de Crookes. Telles sont: quelques espèces de verres, les dissolutions de sulfate de quinine, un grand nombre de sulfures préparés d'après la méthode de M. Ed. Becquerel, la phénakite (aluminate de glucine), le apatite (silicate d'alumine et de lithine), l'émeraude, le diamant, le rubis.

PHOTOCRONOSCOPIQUE (Méthode). — Procédé consistant à éclairer à l'aide de l'ÉTINCELLE ÉLECTRIQUE des objets placés dans l'obscurité de manière à obtenir des images instantanées perceptibles à la vue avec une grande netteté et permettant de mesurer des mouvements rapides simples (vibration, rotation, etc.). Ainsi une balle de fusil animée d'une vitesse de 400 mètres par seconde ne se déplace, pendant la durée d'un éclair électrique, que d'une quantité inappréciable, et paraît immobile dans l'espace. Pour pouvoir mesurer la vitesse des objets examinés par ce procédé il fallait faire éclater les étincelles à intervalles parfaitement réguliers et mesurer exactement l'intervalle de temps entre l'explosion de chaque étincelle. On satisfait à la première de ces conditions en employant une bobine de RUMKORFF munie de son interrupteur à marteau, car les étincelles se produisent aussi régulièrement que les vibrations d'un diapason. M. Hermite a résolu le second point en se servant d'un diapason dont le nombre des vibrations est exactement connu; ce diapason est constitué simplement par une lame d'acier mince, de longueur déterminée et fixée dans un manche métallique. Pour le mettre en vibration il suffit de ployer la lame avec le doigt et de l'abandonner à elle-même; elle exécutera le même nombre de vibrations quelle que soit leur amplitude. Si on éclaire ce diapason à l'aide de la lumière produite par les étincelles d'une bobine de Ruhmkorff en activité et si le nombre des vibrations de la verge d'acier est exactement égal à celui des étincelles, on voit la lame immobile, mais ployée, et elle se redresse très lentement; quand elle est complètement droite, la lame ne vibre plus. On arrive très facilement à obtenir l'*immobilité optique* du diapason en faisant tourner, dans un sens ou dans l'autre, la vis micrométrique de la bobine d'induction. Si le nombre des étincelles est exactement double de celui des vibrations de la lame d'acier, celle-ci sera vue sous forme d'un V dont les branches iront en se refermant lentement. Pour peu que l'accord soit imparfait, on verra les branches du V se refermer puis s'ouvrir, et cela plusieurs fois de suite, suivant la grandeur du désaccord. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*)

M. Izard a proposé d'employer pour l'observation des mouvements vibratoires très rapides, non plus la lumière fournie par l'étincelle électrique, mais celle

produite par les courants d'induction dans les TUBES de GEISSLER. On sait, dit-il, que si l'on illumine un tube de Geissler et qu'à la faveur de cet éclairage intermittent on observe le trembleur de la bobine qui actionne ce tube, le trembleur paraît absolument immobile parce qu'on ne l'aperçoit à chaque décharge que pendant un temps très court et dans la position rigoureuse qui correspond au moment précis où il abandonne la borne de contact de l'Interrupteur. Partant de ce fait, M. Jazou conçoit une méthode d'étude des corps vibrant dans des conditions particulières, s'appliquant par exemple à l'observation des vibrations d'un fil excité et entrete nu dans son mouvement par celui d'un diapason à l'extrémité d'une des branches duquel il est attaché. Le moyen le plus commode consiste à le fixer au trembleur même de la bobine qui fournit l'éclairage; son mouvement étant alors commandé par celui de l'appareil éclairant, on le verra immobile, soit dans une de ses positions extrêmes, soit dans les deux, selon qu'il sera tendu suivant le prolongement du trembleur ou dans une direction perpendiculaire. Dans le second cas le fil vibre comme le diapason, tandis que dans le premier il vibre deux fois moins vite et le simple aspect du phénomène le démontre. Si l'on voulait employer un diapason, on le disposerait de façon qu'il fût entraîné électriquement par le fer doux de la bobine et fonctionnerait lui-même comme interrupteur, ce qui ne présente aucune difficulté. Parmi les diverses applications de cette méthode, on peut citer l'étude des vibrations excitées à la surface des liquides et en particulier du mercure.

PHOTO-ÉLECTRIQUE. — Qui fournit de la lumière électrique.

PHOTO-ÉLECTROGRAPHIE. — ÉLECTROSCOPE disposé de façon qu'on puisse prendre des épreuves photographiques des feuilles d'or de l'instrument, pour fixer l'image de leur écartement.

Cet appareil, dû à Francis Ronald, fonctionne à l'Observatoire de Kiev (Russie), et enregistre sans interruption les variations de l'état électrique de l'air. Il se compose d'un PARATOXÉRIQUE mis en relation avec un électroscope ordinaire, dont les feuilles d'or, fortement éclairées par une lampe, jouent le rôle de deux miroirs qui réfléchissent la lumière et projettent leur double image sur un papier sensibilisé, se déroulant de haut en bas sous l'action d'un mécanisme d'horlogerie. On obtient ainsi deux courbes sinusoïdales qui s'éloignent ou se rapprochent selon le degré d'écartement des feuilles d'or, accusant avec une exactitude absolue l'état électrique de l'atmosphère à tout instant.

PHOTOGLANOVANOGRAFIE. — Nom donné par M. Paul Pretsch à un procédé de gravure héliographique au moyen duquel on obtient, soit sur verre, soit sur toute autre plaque couverte de glu mélangée de substances impressionnables, un dessin en relief ou en creux, qui peut être cliché par l'ÉLECTROTYPE de manière à produire des planches propres à l'impression.

PHOTOGRAPHIE ÉLECTRIQUE. — Photographie obtenue au moyen de l'électricité et sans le secours des rayons solaires.

M. le Dr Boudet de Paris a présenté en 1885 à la Société française de Physique des épreuves photographiques faites sans objectif, soit par l'électrofilé, soit par la lumière réfléchie d'une lampe Carcel.

Les premières épreuves ont été obtenues à l'aide de

l'EFFLOVE ÉLECTRIQUE, en posant simplement l'objet à représenter (pièce en relief, cachet gravé en creux, dessin, photographie, etc.) sur une plaque au gélatino-bromure d'argent et en faisant éclater tout autour des étincelles produites par une MACHINE de Voss.

Dans une deuxième série d'expériences, la photographie a été obtenue avec la lumière réfléchie d'une lampe Carcel : la plaque était posée sur un miroir plan, le côté sensible en haut; l'objet, placé directement sur la plaque, était maintenu à l'aide d'une feuille opaque. On exposait le tout pendant quelques secondes à la lumière d'une lampe Carcel.

Dans une troisième série, l'objet formait l'ARMATURE d'un CONDENSATEUR dont le diélectrique était la plaque sensible et dont la deuxième armature était représentée par une plaque métallique servant de support. Le condensateur, chargé à l'aide d'une machine de Voss, était déchargé avec un EXCITATEUR.

Dans ces trois séries d'expériences, les images des objets de toute espèce ont été obtenues avec beaucoup de netteté et dans leurs moindres détails. Lorsque la pièce à reproduire présente des reliefs, les saillies viennent en blanc et les creux en noir. Le troisième mode d'opération est celui qui a donné les résultats les plus parfaits.

Enfin M. Boudet de Paris a cherché à obtenir des reproductions analogues à l'aide du courant galvanique, en le faisant passer à l'intérieur d'un bain, de l'objet à la plaque, ou inversement, de la plaque à l'objet; mais jusqu'à présent ces essais n'ont pas donné de résultats bien satisfaisants.

Les procédés employés pour obtenir une image photographique par l'effluve électrique sont désignés aussi sous le nom d'EFFLUVOGRAPHIE. A ce mot sont décrits les procédés de M. D. Tommasi.

PHOTOGRAPHIE (Application de l'électricité à la). — On ne dispose pas du soleil à son gré. Aussi la photographie a-t-elle dû se préoccuper depuis longtemps de l'emploi de lumières artificielles possédant un pouvoir photographique assez grand pour remplacer au besoin le soleil, surtout en hiver.

La LUMIÈRE ÉLECTRIQUE, qui donne un foyer lumineux d'une intensité considérable, devait naturellement attirer l'attention des praticiens. M. de La Rive fit, dès 1841, les premiers essais de la lumière électrique appliquée au daguerrétype. Mais, si l'ARC VOLTAÏQUE produit une lumière très intense, cette lumière ne part que d'un point, ses rayons ne se divisent pas, et elle ne donne pas de pénombre aux objets éclairés. Par sa nature même, la lumière électrique ne pouvait donc convenir qu'à la reproduction d'objets inanimés, de lieux non éclairés, de mines et de souterrains. Il ne fallait pas songer à la reproduction de portraits.

D'autres tentatives faites avec diverses lumières artificielles ne furent pas plus heureuses. La lumière oxyhydrique, la lumière d'une lampe à sulfure de carbone et à oxyde d'azote, la lumière au magnésium, d'abord expérimentées, ne tardèrent pas à être abandonnées. On est revenu à la lumière électrique et on a en raison, car cette lumière est éminemment actinique. Seulement, il fallait trouver un mode d'emploi spécial qui, tout en conservant à cette lumière ses qualités, fit disparaître les défauts qui empêchaient de l'appliquer à la photographie.

Le mode d'emploi désiré paraît être acquis par les procédés américains, appliqués par M. Libert. Une demi-sphère, creusée de 2 mètres de diamètre environ, et servant de réflecteur, est suspendue au plafond, de façon à présenter sa cavité en face du sujet qu'il s'agit de photographier. Cette sphère porte

deux charbons de cornue, dont l'un est fixe, et dont l'autre est rendu mobile par un pas de vis. Les charbons sont rapprochés, en faisant entre eux un angle droit. C'est, en somme, un RÉGULATEUR à main. A chaque pose il faut mettre les deux charbons au point. La durée de pose est si courte que la lumière ne peut venir à manquer.

La nouveauté du système adopté par M. A. Liébert consiste en ce que la lumière électrique ne vient pas tomber directement sur le modèle. Cette lumière se trouve tout d'abord projetée sur un obturateur qui, à son tour, la renvoie sur les parois de la demi-sphère, qui sont d'une éblouissante blancheur, de telle manière que les rayons lumineux, ainsi dispersés, ainsi divisés, viennent positivement inonder la personne dont l'image doit être reproduite.

Le courant nécessaire est fourni par une MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE de Gramme, type d'atelier, qu'un moteur à gaz de 4 chevaux fait marcher à raison de 900 tours à la minute. (Gaston Tissandier, *les Merveilles de la photographie*.)

Une application intéressante à signaler est la photographie des diamants de la couronne, en février 1887. Cette opération devait se faire dans les sous-sols du ministère des Finances en présence des membres de la commission, qui exigeaient : 1° que l'opérateur n'entrât avec ses appareils qu'avec la commission et en sortît avec elle; 2° qu'il ne fût introduit dans les caves ni machine à vapeur, ni batteries susceptibles de produire des émanations. On avait pensé tout d'abord aux ACCUMULATEURS, qui auraient pu remplir le but, s'il n'avait fallu les apporter et les enlever après chaque séance. On y renouça en présence des difficultés de manipulation de ces appa-

reils, dont le poids dépassait 2.000 kilogrammes. Les batteries de M. Trouvé, au contraire, ont donné la solution de ce cas spécial; elles pesaient en tout 200 kilogrammes; trois minutes suffisaient à les installer et le même temps pour les enlever. Elles ont fourni à chaque séance un foyer électrique de 150 carrels pendant quatre heures. A part la PILE BUNSEN, aucune autre pile essayée jusqu'alors n'avait donné de semblables résultats. Le catalogue de la vente des diamants de la couronne a donné une idée des magnifiques épreuves obtenues.

Analyse des alliages d'or et d'argent par la photographie. — A la Monnaie de Londres, M. Norman Lockyer a introduit, pour l'essai des alliages d'or et d'argent, une méthode d'analyse fondée sur la photographie des raies spectrales. L'alliage est placé dans une cavité creusée dans le charbon inférieur d'une LAMPE ÉLECTRIQUE. Il se volatilise quand l'arc voltaïque jaillit. Le faisceau lumineux traverse une fente, et les raies de l'or et de l'argent, projetées sur un écran dans une chambre noire, sont directement photographiées. Les épreuves obtenues, comparées à d'autres produites à l'avance avec des raies fournies par des alliages de composition connue, servent à déterminer la proportion d'or et d'argent du produit examiné. On sait, en effet, que la largeur et la longueur des raies varient selon la proportion des corps entrant dans la composition de l'alliage. (Gaston Tissandier, *les Merveilles de la photographie*.)

Étude de la durée de l'action lumineuse pendant le fonctionnement d'un obturateur. — M. Albert Londe pense que les

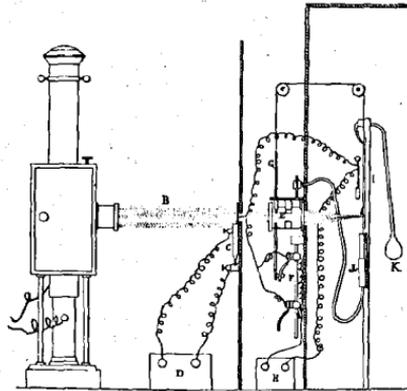


Fig. 1. — A. Lampe électrique. — B. Faisceau de rayons parallèles. — C. Diapason électrique. — D. Pile du diapason. — E. Objectif coupé. — F. Tige portant les cur-

seurs. — G. Guillotine. — H. Pile du chronographe. — I. Châssis enregistreur. — J. Double piston déclenchant la guillotine. — K. Poire pneumatique déclenchant le châssis.

obturateurs qui démasquent latéralement sont l'objet d'une critique non justifiée en pratique. Les inconvénients attribués à ce genre d'obturateurs ne se produisant qu'au commencement et à la fin de la pose, on aura réduit à néant les reproches si on a prouvé que précisément à ces deux moments l'image ne se fait pas. M. Londe a dès lors cherché à démontrer, par une

expérience précise, que la lumière pendant le fonctionnement d'un obturateur n'agit pas sur la surface sensible dès l'instant où elle peut arriver sur celle-ci.

Pour cette étude très délicate, il a fait construire par M. Dessoudex un appareil tout spécial (fig. 1), dont il donne la description suivante dans sa brochure intitulée: *la Photographie instantanée*.

- « L'appareil se compose de :
- 1° Un foyer électrique avec condensateur qui donne un faisceau de rayons parallèles;
 - 2° Un écran percé d'un trou recouvert de papier dioptrique monté sur un diapason;

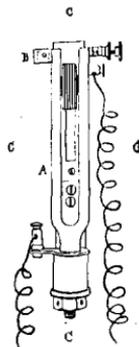


Fig. 2. — A. Diapason. —
B. Écran percé d'un trou.
— C. Cloison opaque.

faisceau de rayons qui agissent sur toute la surface des lentilles et qui placent l'expérimentateur dans les conditions de la pratique. Nous l'avons obtenu en recouvrant un petit trou percé dans un écran (fig. 2)

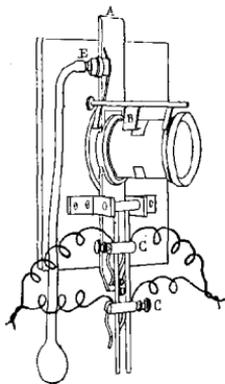


Fig. 3. — A. Guillo-tine. — B. Déclenchement. — CC. Curseurs. — D. Tige de la guillo-tine. — E. Appareil pneumatique.

d'une feuille de papier dioptrique. Un faisceau de lumière électrique projeté sur l'écran l'éclaira et donne un point lumineux très brillant. Notre petit écran est fixé sur un DIAPASON ÉLECTRIQUE; nous plaçons ce dernier sur un grand écran percé d'une ouverture rectangulaire correspondant à notre point, mais un peu plus grande. Nous verrons plus loin le

rôle du diapason. En face de notre point et à une certaine distance se trouve une cloison qui porte l'objectif. Cette cloison est la partie antérieure d'une chambre obscure. En dessous de l'objectif se trouve un pont métallique soutenant deux tiges d'acier parallèles. Sur ces deux tiges se meuvent deux curseurs portant chacun deux ressorts courbés, séparés par un intervalle de 0,003 (fig. 3). Ces ressorts font partie d'un circuit électrique qui a pour but d'actionner un CHRONOGAPHE placé sur l'appareil enregistreur. La partie inférieure de la guillo-tine porte une tige qui, au moment de son passage entre les deux ressorts de l'un ou de l'autre curseur, permet le passage du cou-

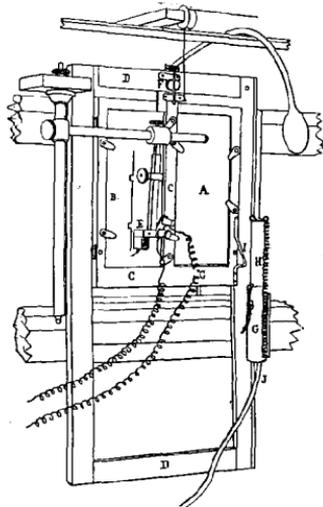


Fig. 4. — A. Glace sensible. — B. Lame de verre enfumé. — CC. Châssis mobile. — DD. Châssis fixe. — E. Chronographe électrique. — F. Déclenchement pneumatique. — G. Appareil déclenchant l'obturateur en expérience. — H. Piston dudit appareil.

rant, et par suite, détermine la production du signal à un instant voulu.

L'appareil enregistreur se compose d'un cadre fixe portant deux rails sur lesquels peut glisser, au moyen de galets, un cadre intérieur (fig. 4) divisé en deux compartiments, l'un destiné à recevoir la glace sensible, l'autre une lame de verre enfumé sur laquelle le chronographe électrique doit inscrire sa trace.

Au moyen d'un fil passant sur des poulies, l'appareil enregistreur entraîne dans sa chute la guillo-tine. Les deux appareils sont donc solidaires l'un de l'autre. L'appareil enregistreur se trouve, bien entendu, dans une chambre obscure et placé de manière que l'image du point se forme bien nette à la partie inférieure de la glace. Son départ est déterminé au moyen d'une poire pneumatique. On voit qu'au moment où l'on déclenche l'appareil, celui-ci entraînant la guillo-tine, la lumière pénétrera dans la chambre obscure et viendra former sur la glace sensible une trace re-

ligne qui sera l'expression même du temps pendant lequel la lumière aura agi. Pour savoir la valeur de ce temps, il suffira de faire vibrer le diapason; celui-ci entrant dans le petit écran et par suite le point lumineux, la trace ne sera plus rectiligne, mais sinusoidale. Connaissant le nombre des vibrations exécutées par le diapason dans l'unité de temps, en comptant le nombre de celles inscrites sur la glace, on en déduira avec la plus grande facilité le valeur du temps pendant lequel la lumière aura agi.

Mais, actuellement, que voulons-nous? Savoir si la lumière agit pendant tout le temps pendant lequel elle pourrait agir. Il faut déterminer le temps pendant lequel la lumière peut pénétrer dans la chambre noire, c'est-à-dire enregistrer l'apparition du point lumineux et son extinction. Pour cela, nous plaçant derrière l'appareil enregistreur, et remplaçant la glace sensible par un verre dépoli, nous faisons descendre lentement le cadre mobile de l'appareil enregistreur jusqu'au moment où le point apparaît. A cet instant nous l'immobilisons, et nous faisons voyager notre premier curseur jusqu'à ce que le courant se trouve établi par la tige de la guillotine et fasse fonctionner le chronographe. Nous plaçons de même l'autre curseur au moment où le point apparaît. Notre appareil est dès lors réglé. Dès que le point apparaît, un signal est fait sur notre lame de verre enfumé; dès qu'il disparaît, un autre signal s'inscrit.

Nous avons donc, d'une manière absolument rigoureuse, les deux instants entre lesquels la lumière pénètre dans l'appareil. Si elle agit pendant la même période en fonctionnement normal, notre trace lumineuse doit commencer au moment où le premier signal se produit et cesser au second. S'il n'en est pas ainsi, c'est que la lumière n'agit pas pendant tout le temps où il semblerait qu'elle pût le faire.

Nous avons fait reproduire le résultat de l'expérience, et d'un seul coup d'œil on voit que le point n'a inscrit son image que bien après le premier signal, pour le terminer également avant le second. L'image ne se produit donc pas au début et à la fin de la pose; par conséquent toutes les inégalités d'éclairage indiquées par la théorie sont de nulle valeur en pratique, puisque, si mauvaise image il peut y avoir, elle n'est pas assez intense pour impressionner la couche. D'autres phénomènes d'aberration se produisent également, d'après la théorie, dans ces deux périodes, mais par les mêmes raisons ils n'influencent pas sur la pratique.

Notre conclusion est que le système d'ouvertures latérales, quoique présentant théoriquement certains inconvénients, doit au contraire être maintenu dans la pratique.

Mesure des temps de pose. — Cette question, excessivement complexe, demande des méthodes de haute précision et touche intimement à certaines questions, telles que la mesure des intensités lumineuses et l'éclairement de la lumière, qui ne sont pas encore décidées. Les méthodes peuvent être divisées en méthodes d'enregistrement graphique, et méthodes d'enregistrement optique. Les premières permettent de mesurer le temps de fonctionnement mécanique d'un obturateur, depuis le moment où il démasque l'objectif jusqu'au moment où il le recouvre; les autres font connaître le temps pendant lequel la lumière agit sur la surface sensible; c'est le seul renseignement qui soit utile à l'opérateur.

La première méthode optique a été indiquée par M. Jubert. Elle consiste à faire tomber une loupe brillante le long d'une échelle graduée et à la photographier pendant sa chute; mais cette manière d'opé-

rer présente de sérieuses difficultés dans la pratique.

M. Vidal propose un autre procédé basé sur la relation d'une aiguille blanche sur un cadran noir portant un grand nombre de divisions blanches. En photographiant cette aiguille en marche, on obtiendra sur l'épreuve une trace qui aura la forme d'un secteur; par une simple lecture il sera facile de connaître le temps de pose. Mais cette méthode est inexacte en application à cause de l'extrême difficulté que l'on éprouve à faire parcourir à une aiguille des intervalles égaux dans des temps égaux, surtout en présence de l'impossibilité d'employer un échappement à ancre, puisque, dans le problème posé, il faut que l'aiguille marche d'un mouvement continu sans temps d'arrêt ni saccades.

Pour rendre précise la méthode de M. Vidal, M. A. Londe a fait mouvoir l'aiguille par un régulateur de vitesse Foucault, en contrôlant constamment sa marche au moyen du diapason électrique. Il a aussi photographié le déplacement d'un point brillant. Il est certain que ces diverses méthodes ne sont pas à la portée de tous; mais il faut songer qu'il s'agit de mesurer des centièmes ou des millièmes de seconde, ce qui exige absolument l'emploi d'instruments de haute précision.

M. A. Londe a également appliqué à la mesure des temps de pose l'appareil décrit plus haut, et qui lui a servi à mesurer la durée de l'action de la lumière pendant le fonctionnement d'un obturateur.

Photographie des projectiles en mouvement. — MM. Mach et Salcher sont parvenus à étudier qualitativement et qualitativement les phénomènes de compression et de réflexion de l'air qui accompagnent le déplacement d'un projectile et à fixer photographiquement la forme de l'onde produite. Ces savants autrichiens illuminent le projectile par l'ÉTRICELLE d'une bombe d'induction au moment où il passe devant l'objectif de l'appareil photographique. Ils obtiennent ainsi sur du papier sensibilisé l'image très nette de l'onde aérienne. Voici comment ils disposent l'expérience: le circuit d'une batterie de BOUTILLES DE LEYDE renferme deux interrupteurs, I et II, placés dans l'axe optique d'un appareil photographique. L'interrupteur I, situé entre l'interrupteur II et l'appareil photographique, est composé de deux électrodes soudées dans des tubes de verre et par conséquent maintenues séparées. L'interrupteur II est formé de deux électrodes placées en regard l'une de l'autre à une distance de 0^m,408 à 0^m,007; le projectile qui passe entre les deux électrodes de l'interrupteur I brise le verre qui les protégeait, ces électrodes se rejoignent, une forte étincelle jaillit alors entre les extrémités de l'interrupteur II et éclaire à travers une fente le projectile, qui est alors photographié à l'aide d'une lentille. On obtient en même temps que la photographie du projectile celle de l'onde qui l'accompagne, attendu que cette onde est le siège de variations considérables dans la densité de l'air et par suite dans son indice de réfraction. Ces essais prouvent que l'électricité peut être utilement employée à des recherches délicates et difficiles. (*Lum. Elect.*, t. XVII, n° 2.)

PHOTOMÈTRE ÉLECTRIQUE. — Appareil imaginé par Masson pour mesurer l'intensité lumineuse des ÉTRICELLES.

PHOTOMÈTRE MAGNÉTIQUE de Coulon. — Instrument destiné à mesurer l'intensité lumineuse d'un foyer en se basant sur les déviations qu'imprime la lumière à un moulinet genre Crookes. Ce moulinet

se compose essentiellement d'une AIGUILLE AMANTÉE portant à ses extrémités deux disques en mica recouverts de noir de fumée sur l'une de leurs faces, et suspendue dans l'intérieur d'un tube où l'on a fait le vide. Sous l'influence du MAGNÉTISME TERRESTRE, ou d'un aimant placé à une certaine distance, l'aiguille prend une position déterminée. Lorsqu'un rayon de lumière vient frapper les deux disques de mica, l'aiguille est déviée de sa position d'un certain angle. On peut alors graduer empiriquement l'appareil en marquant les angles de déviation correspondant à des intensités lumineuses connues, ou bien mesurer une fois pour toutes la déviation donnée par un étalon de lumière, le carcel par exemple, et rapprocher ou éloigner la source lumineuse jusqu'à ce que la déviation de l'appareil soit la même que celle produite par l'étalon; le rapport inverse du carré des distances permet alors de calculer l'intensité de la source lumineuse.

PHOTOMÉTRIE ÉLECTRIQUE. — Méthode propre à évaluer l'intensité d'une source lumineuse au moyen de l'électricité.

M. Gimé a combiné une méthode photométrique basée sur le principe des modifications de résistance électrique que font éprouver au sélénium les variations de l'intensité de lumière auxquelles ce corps est exposé. On intercale dans le circuit d'une pile très constante une résistance de sélénium disposée de façon à former écran et un GALVANOMÈTRE Thomson à réflexion de grande résistance. On commence par placer la résistance de sélénium à une distance précise et réversible de la source lumineuse adoptée comme étalon et on note soigneusement la déviation du galvanomètre. On dispose ensuite la source lumineuse à mesurer en regard du sélénium et on la rapproche ou on l'éloigne jusqu'à ce que l'on ait obtenu la même déviation que dans la première expérience. Le pouvoir émissif de source lumineuse à mesurer s'obtiendra par le calcul en se basant sur la loi connue du carré des distances.

On peut aussi placer exactement à la même distance de l'écran en sélénium, d'abord l'étalon, puis la source de lumière à mesurer, et obtenir la quantité de lumière émise en comparant les déviations du galvanomètre sur son échelle. Dans la pratique industrielle, dit M. Gimé, on pourra faire usage d'un galvanomètre ordinaire qui, au lieu d'être gradué en degrés, le sera en unités de lumière; de cette façon la lecture sera plus simple et plus facile; mais les résultats obtenus ne seront pas, bien entendu, aussi précis que ceux fournis par la méthode ci-dessus indiquée.

Voici encore une autre combinaison proposée également par M. Gimé :

On relie par deux conducteurs le pôle positif d'une PILE-ÉTALON avec deux résistances en sélénium identiques. De l'une de ces résistances part un fil rattaché à la bobine supérieure d'un galvanomètre Thomson, de manière à produire une déviation dans un sens quelconque; la deuxième résistance est reliée par un deuxième conducteur à la bobine inférieure du même galvanomètre, de telle sorte que la déviation qui en résulte soit de sens contraire à celle produite par la bobine supérieure; on complète le circuit en reliant les deux microphones fibres des bobines au pôle négatif de la pile. En regard et à une distance déterminée d'une des résistances en sélénium on dispose la source lumineuse prise comme étalon, tandis que la source lumineuse à mesurer est placée en face de la deuxième résistance. Après avoir ramené au zéro de l'échelle l'écart lumineux du galvanomètre au repos, on ferme le circuit et on fait varier

les distances des sources de lumière aux résistances en sélénium jusqu'à ce que les effets produits sur les résistances soient identiques, ce que l'on reconnaît lorsque le système magnétique du galvanomètre sera équilibré par les deux courants en opposition, c'est-à-dire lorsque la tache lumineuse du galvanomètre sera revenue au zéro de l'échelle.

Pour que les actions produites par chaque source soient identiques, il faut que les quantités de lumière reçues soient égales; il en résulte que l'on pourra déterminer les quantités de lumière émises par un calcul basé sur la loi énoncée plus haut. Comme source lumineuse étalon, M. Gimé prend soit l'unité pratique de lumière blanche (lampe carcel brûlant 12 grammes d'huile de colza à l'heure), soit la lumière émise normalement par un centimètre carré de surface de platine fondu à la température de solidification (unité Violle). Il emploie comme pile étalon le couple Latimer-Clark, zinc, sulfate de zinc, mercure et sulfate de protoxyde de mercure. (*Lumière électrique*, n° 41, t. XXII, 1886.)

PHOTOPHONE. — Appareil destiné à transmettre la parole à distance en prenant comme véhicule des vibrations un rayon lumineux ou calorifique.

Les expériences de M. Adams sur les propriétés du sélénium ont suggéré à M. Graham Bell l'idée qu'en faisant varier l'intensité de la lumière tombant sur ce métal et en étudiant la conductibilité du sélénium avec un téléphone on percevait des sons dans ce dernier.

Pour rendre sensibles les propriétés du sélénium, M. Bell a fait l'expérience suivante : un rayon de sélénium est traversé par le courant d'une pile et un téléphone est intercalé dans le circuit. On fait tomber sur le sélénium un rayon de lumière éclipsé à grand nombre de fois dans l'espace d'une seconde, autrement dit une succession d'émissions lumineuses très rapprochées; c'est ce que M. Bell appelle un rayon vibratoire. Chaque émission cause une variation dans la résistance du sélénium, et par suite dans l'intensité du courant qui le traverse; le téléphone placé dans le circuit subit des variations d'aimantation correspondantes. Si l'on produit ainsi 435 éclairs par seconde, il y aura 435 variations de courant, et la membrane du téléphone exécutera 435 vibrations, c'est-à-dire la note *la* du diapason. On pourra donc ainsi transmettre des sons entre deux stations sans avoir besoin de fils conducteurs pour relier ces stations; il suffira de se voir pour pouvoir parler.

Ainsi, le photophone de G. Bell, basé sur le même principe que le radiophone de M. Mercadier, utilise la propriété curieuse du sélénium qui consiste dans l'influence que les rayons lumineux exercent sur sa conductibilité électrique. Les variations de résistance du transmetteur microphonique ainsi formé sont perçues au moyen d'une pile et d'un téléphone.

Le transmetteur photophonique du MM. Graham Bell et Tainter est une sorte de roue dentée jouant le rôle de sirène optique, quand il s'agit de produire des interruptions rapides et régulières du rayon lumineux et de provoquer dans les appareils récepteurs un son intense dont la hauteur est fonction des dimensions de la sirène et de sa vitesse de rotation.

La fig. 1 représente la disposition de l'expérience.

Au pôle de départ se trouve un miroir M qui réfléchit un faisceau de rayons parallèles, lequel est concentré par une lentille L en un foyer où il rencontre le disque D percé de trous ou fentes disposés en cercle près des bords, jouant le rôle du sirène. Quand ce disque tourne, le faisceau lumineux passe ou est intercepté, suivant qu'il rencontre un vide ou un plein; à leur sortie les rayons lumineux sont reçus

par une autre lentille L' qui leur rend leur parallélisme et les renvoie au poste récepteur, où une nouvelle lentille les fait converger sur le morceau de

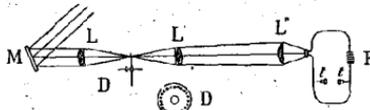


Fig. 1.

sélénium intercalé dans le circuit formé par une pile P et des téléphones récepteurs R .

Quand on se sert de la lumière solaire on remplace le miroir M par celui d'un héliostat, qui renvoie le faisceau lumineux dans une direction fixe; quand on se sert de lumière électrique, on place le foyer lumineux (ARC voltaïque) au foyer d'un réflecteur parabolique qui réfléchit les rayons en faisceau parallèle sur la lentille L.

On peut transmettre avec le photophone non seulement des sons musicaux, mais aussi des sons arti-

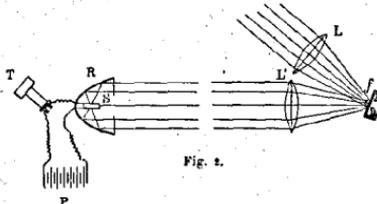


Fig. 2.

culés. Dans ce cas on dispose l'appareil comme le montre la fig. 2. Le transmetteur se compose d'une embouchure obturée par une feuille mince de verre formant miroir ou par un miroir métallique de 0,001 d'épaisseur, encastré comme une membrane téléphonique. Sous l'influence des vibrations de l'air, produites par la parole, ce miroir mince se bombe ou se creuse, et si on concentre sur lui un rayon lumineux, à l'aide d'une lentille L, ce rayon sera rétréci en faisceau divergent ou convergent. L'intensité lumineuse projetée à distance changera donc constamment et le rayon de lumière, arrivant sur le récepteur en sélénium S placé au foyer d'un réflecteur R, éprouvera des variations de résistance, de sorte que la parole sera reproduite par un téléphone T placé dans le même circuit que le sélénium S et la pile P.

Ce récepteur en sélénium doit avoir la plus grande surface possible et en même temps présenter une résistance faible au courant électrique qui le traverse. On arrive à réaliser ces deux conditions en employant une grille ou une spirale de sélénium comme l'a fait M. Siemens. MM. Bell et Tainter ont donné, au contraire, à leur récepteur photophonique une forme plane ou une forme cylindrique. Le récepteur plan est composé de deux plaques de cuivre séparées par du mica; la plaque supérieure est percée de trous coniques et la plaque inférieure porte des pointes qui pénètrent dans ces trous sans toucher leurs bords; l'espace annulaire compris entre les pointes et les bords des trous est rempli de sélénium. Le courant arrivant par la plaque inférieure s'épanouit dans les pointes et passe par les anneaux de sélénium à la plaque supé-

rieure. Ce récepteur a une résistance de 300 ohms dans l'obscurité et de 150 ohms au jour. Le récepteur cylindrique s'emploie de préférence au récepteur plan lorsque le faisceau lumineux est très large ou peu dispersé, comme dans les cas ordinaires de la pratique. On place alors ce récepteur au foyer d'un grand miroir parabolique, ainsi que le montre la fig. 2, ce qui permet de recueillir tous les rayons et de les ramener sur la surface du récepteur.

La transmission des sons articulés exige des conditions toutes particulières; l'expérience est délicate; il n'en est pas de même de la production des sons musicaux. (Rapport du Jury de l'Exposition de 1881.)

PHOTOPHONIE. — Production des sons au moyen des rayons lumineux.

La photophonie a été créée, comme la téléphonie, par Graham Bell. C'est en 1880 que furent publiés les premiers travaux que cet inventeur avait faits en collaboration de M. Tainter. Les expériences ont été répétées depuis, en Angleterre par sir Thomson, Freece et Bidwell, et en France par M. Mercadier. Les expériences de ce dernier savent prouver que les causes des phénomènes photophoniques sont dues aux radiations thermiques, et il a proposé en conséquence de substituer au mot *photophonie* la dénomination de *radiophonie*, universellement adoptée aujourd'hui. (Les travaux de M. Mercadier ont fait l'objet de nombreuses et intéressantes communications à l'Académie des Sciences et ont été publiés dans les *Comptes rendus*.)

PHOTOPHORE. — Appareil électrique imaginé et construit par M. Trouvé avec le concours de M. Hélot

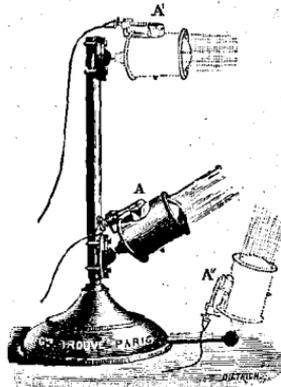


Fig. 1. — Photophore.

pour éclairer vivement les sujets d'observation qui peuvent être disposés sur la platine du microscope. L'appareil comprend un socle plein surmonté d'une tige le long de laquelle se fixe, au moyen de glissières, la source de lumière qui est constituée par une lanterne métallique de forme cylindrique et dans laquelle se trouve une lampe à incandescence dont le réflecteur concentre les rayons sur l'objet à éclairer. La lanterne peut prendre l'une quelconque des positions intermédiaires entre A' et A'' (fig. 1).

M. Trouvé désigne l'appareil qui vient d'être décrit sous le nom d'*Auxanoscope électrique* (du gr. *auxanô*, jaugeage, et *skopô*, je vois).

Photophore frontal. — Photophore construit sur le même principe que le précédent, mais disposé



Fig. 2. — Photophore frontal.

de manière à être fixé sur le front, ainsi que l'indique la fig. 2, ce qui rend libres les deux mains de l'opérateur.

PHOTOSCOPE. — Appareil servant à avertir électriquement une gare de l'extinction des feux des signaux fixes qui la protègent. (V. CONTRÔLEUR.)

PHOTOTÉLÉGRAPHE. — Télégraphe inservant les dépêches par le moyen de la lumière.

PHOTOTHERMOMÈTRE ÉLECTRIQUE. — Instrument destiné à mesurer la température de l'eau à de grandes profondeurs et utilisé notamment pour étudier les conditions dans lesquelles se trouvent les câbles sous-marins après leur pose. Le photothermomètre du Dr Hugo Michaelis, de Berlin, qui est en même temps un appareil enregistreur, se compose d'une boîte cylindrique en fonte dans l'intérieur de laquelle sont une lampe à incandescence et un cylindre à axe vertical entouré de papier sensible. Sur l'axe du cylindre est calée une roue dentée engrainant avec un cliquet solidaire de l'ARMATURE d'un ÉLECTRO- AIMANT. Entre la lampe et le cylindre est placé un thermomètre à mercure dont le réservoir plonge dans un bain de mercure. A la partie supérieure de la boîte en fonte se trouvent deux bornes où aboutissent deux conducteurs isolés dont les extrémités libres sont reliées à une pile et à un COMMUTATEUR-INTERRUPTEUR. La boîte est suspendue à un câble qui permet de la descendre à une profondeur déterminée, tandis que la pile et le commutateur restent à bord du navire. Au bout du temps nécessaire pour que le thermomètre se soit mis en équilibre de température avec la masse d'eau dans laquelle est plongée la boîte on ferme le circuit de la pile en manœuvrant le commutateur. Le courant actionne la lampe à incandescence et attire l'armature de l'électro-aimant, le cliquet solidaire de cette armature fait tourner la roue dentée et, par suite, le cylindre sur lequel est enroulé le papier sensible, et on obtient ainsi une épreuve négative de la hauteur occupée par la colonne mercurielle du

thermomètre. On rompt alors le circuit et on peut recommencer une nouvelle expérience.

PHYSIOLOGIE (Rapport de l'électricité avec la).

— L'étude des rapports de l'électricité avec la physiologie, ou l'*électro-physiologie*, comprend tous les phénomènes qui ont pour cause ou pour résultat la production de l'électricité dans les corps vivants.

Ces phénomènes sont de deux sortes :

1° Ceux qui dérivent de l'électricité produite par le corps vivant lui-même ou *Electrogénie* ;

2° Ceux qui sont le résultat de l'action physiologique de l'électricité prise à une source étrangère.

Electrogénie. — Ce nom a été donné par MM. Bérard et Ch. Robin à la production d'électricité par les tissus vivants. Ce pouvoir électrogène a été surtout mis en évidence pour les muscles et pour les nerfs.

Lorsqu'on étudie les courants naturels ou physiologiques, il faut s'entourer de certaines précautions indispensables à l'exactitude de l'observation. Ainsi il faut mettre les tissus en communication avec un GALVANOMÈTRE très sensible et à l'abri de toute oscillation mécanique, posé, par exemple, sur un support cellé dans un mur. En outre, les fils conducteurs métalliques ne peuvent être mis directement en contact avec les tissus, car de ce contact résulterait un courant qui modifierait le courant naturel que l'on veut étudier. Pour éviter toute cause d'erreur, Du Bois-Reymond, se basant sur la découverte de J. Regnault (que des plaques de zinc amalgamé, plongées dans une dissolution de sulfate de zinc pur, ne donnent aucun courant) a indiqué la disposition suivante: On remplit deux vases en verre d'une solution saturée de sulfate de zinc pur; dans chacun de ces vases on plonge: 1° une lame en zinc amalgamé, qui servira de anode; 2° un coussin, ou support, formé d'un grand nombre de feuilles de papier bariolé coupées en bandelettes et imprégnées du même liquide. Sur ces supports on place de petites masses d'argile imbibées d'eau salée, et c'est sur ces masses d'argile, disposées l'une vis-à-vis de l'autre, qu'on fait reposer l'organe à étudier. On arrive ainsi, sinon à annuler, du moins à diminuer les effets de la POLARISATION. Quelquefois, pour plus de commodité, on supprime les vases en verre et on les remplace par des vases en zinc amalgamé, directement en communication avec les rhéophores.

En opérant dans ces conditions, si l'on réunit par un fil conducteur la surface et l'extrémité d'un muscle ou d'un nerf détaché d'un animal vivant, on constate l'existence d'un courant dont le sens est tel que la surface, ou la section longitudinale, est positive par rapport à l'extrémité tendineuse ou à la section transversale, qui est négative. C'est ce que l'on a appelé le *courant propre du muscle ou du nerf* *à repos*.

D'après Du Bois-Reymond qui, le premier, a étudié les phénomènes du courant musculaire, les points *symétriques*, c'est-à-dire également éloignés du centre de section d'un muscle, ne donnent pas de courant, tandis que pour les points *insymétriques* on observe un courant toujours plus faible que le courant musculaire proprement dit.

Oscillation négative. — Lorsque les muscles ou les nerfs entrent en état d'activité fonctionnelle, c'est-à-dire si le muscle se contracte ou si le nerf transmet une fonction quelconque, sensible ou motrice, le courant propre subit une variation immédiate qui dure tout le temps de l'activité fonctionnelle, quel que soit d'ailleurs le mode d'excitation que l'on ait employé pour mettre en jeu cette activité. Comme à ce mo-

ment le galvanomètre multiplicateur révèle toujours une déviation *moindre* qu'à l'état de repos de l'organe, on a appelé ce phénomène *oscillation négative*. La diminution de la déviation est quelquefois telle, que l'aiguille revient au zéro et peut même le dépasser dans les contractions très énergiques de façon à renverser le courant; dans ce cas la surface devient négative et l'extrémité positive.

Électrotonus.—Nom donné par Du Bois-Reymond à l'état électrique spécial que possède un nerf dans toute sa longueur lorsqu'une partie seulement de ce nerf est soumise à l'action d'un courant galvanique de force constante. Cet état électrique se manifeste par un *changement* que subit le courant naturel au moment de l'application du courant de la pile, et qui persiste tant que le circuit est fermé. Si le courant galvanique et le courant naturel sont de même sens, l'aiguille du galvanomètre accuse une augmentation du courant naturel; s'ils sont de sens contraire, la déviation de l'aiguille diminue et peut même dépasser le zéro, indiquant ainsi un renversement du courant. — Lorsqu'on supprime le courant de la pile, le galvanomètre fait constater le passage d'un courant de sens contraire à celui de la pile, et le courant propre du nerf se trouve encore influencé en plus ou en moins par ce courant secondaire, suivant le sens d'après lequel il agit.

Théories diverses.—Plusieurs hypothèses ont été émises sur les causes qui donnent naissance aux courants naturels ou physiologiques.

D'après Scoutetten, les phénomènes électriques sont dus au contact des deux sangs par l'intermédiaire d'une cloison poreuse; mais l'existence d'un courant cheminant du sang veineux au sang artériel est encore problématique. — D'après certaines théories, la gaine du nerf représente un élément positif, et le tissu nerveux libre à la surface, de section transversale, représente un élément négatif; mais cela n'explique pas comment le courant existe entre deux points d'une section longitudinale du nerf. D'après d'autres, le cylindre-axe serait l'élément négatif et la moelle du nerf l'élément positif; mais la fibre musculaire, qui possède aussi un courant propre, est de structure homogène.

Suivant l'hypothèse de Du Bois-Reymond et de l'école allemande, la fibre nerveuse, ou musculaire, est composée d'une infinité d'éléments électromoteurs qui ont une zone équatoriale positive et deux zones polaires négatives; la zone positive est tournée vers la section longitudinale de la fibre, les zones négatives vers la section transversale. C'est là l'*élément péripolaire*, et cette disposition qui se répète dans chacun d'eux constitue, pour le nerf et le muscle en repos, l'arrangement connu sous le nom d'*arrangement péripolaire*. D'ailleurs cet élément péripolaire n'est même point aussi simple, et il est formé en réalité par l'adjonction de deux *molécules dipolaires*, qui se regardent par leur pôle positif. Pour interpréter le phénomène de l'électrotonus, Du Bois-Reymond suppose que le courant excitateur de la pile fait éprouver aux molécules électromotrices un mouvement de rotation qui les dispose en colonne, de telle sorte que les portions positives regardent le côté vers lequel va le courant dans le nerf, et les portions négatives regardent le côté d'où il vient; les molécules passent ainsi de l'arrangement péripolaire naturel à l'*arrangement dipolaire*; c'est-à-dire que, au lieu de se regarder par leurs pôles de même nom, elles se regardent par leurs pôles de nom contraire; elles sont donc disposées comme les éléments d'une pile de Volta, et cet arrangement a reçu, par analogie, le nom de *polarisation en colonne*.

Dans cette situation, les molécules ont leur pôle négatif tourné vers l'électrode positive du courant excitateur, et leur pôle positif vers l'électrode négative. Pour expliquer comment le courant secondaire, produit par la polarisation en colonne, permet la manifestation du courant primaire naturel, qui résulte de l'arrangement péripolaire, l'auteur allemand suppose que la rotation dipolaire des molécules est incomplète. Cette rotation n'aurait pas 180° et en reste d'autant plus éloignée que la molécule est elle-même plus distante des électrodes; dès que la chaîne du courant excitateur est ouverte, les molécules partiellement tournées reviennent à l'arrangement péripolaire. (Du Bois-Reymond, *Funkh.*)

Enfin, d'après l'école franco-italienne (Matteucci, Cl. Bernard, Tripier, Chauveau, Legros, Duchenne de Boulogne, Onimus, Bardet, etc.) ce sont les nombreuses réactions chimiques qui se passent dans l'organisme qui doivent être regardées comme la cause des phénomènes électriques physiologiques, sans que la nature même de ces réactions puisse être expliquée par une théorie satisfaisante dans l'état actuel de la science. Ce serait donc de l'ensemble de ces réactions chimiques ou physiologiques que résulterait le courant propre du nerf ou du muscle au repos, courant qui, d'ailleurs, disparaît en même temps que la vitalité des tissus. Quant à l'*oscillation négative*, le Dr Bardet en donne une explication très ingénieuse. S'appuyant sur deux expériences de M. Lippmann, qui démontrent que les changements de rapport entre les surfaces de deux corps en présence suffisent pour produire une différence de *POTENTIEL* ou une *tension*, laquelle se traduit par un courant dans un circuit interrompu, le Dr Bardet considère l'*oscillation négative* comme le résultat des modifications de surface survenues dans le muscle au moment où il se contracte; la contraction diminuant la surface, celle-ci devient négative; le relâchement l'augmentant, elle prend un potentiel positif. À l'appui de sa théorie, il propose une expérience très simple. Un muscle est lié par sa partie tendineuse au moyen d'un fil de soie isolant, à l'extrémité tendineuse d'un deuxième muscle; les autres extrémités tendineuses libres de chacun de ces deux muscles sont fixées séparément, à l'aide de pinces, à deux supports isolés. Chacun de ces muscles étant relié à un galvanomètre spécial, on constate que chacun d'eux possède un courant propre normal: les surfaces sont positives par rapport aux extrémités tendineuses, qui sont négatives. Dans cette position, que l'on fasse contracter l'un des muscles à l'aide d'une pince galvanique; et l'on voit aussitôt le être naturellement l'autre muscle; et l'on voit aussitôt que, tandis que celui qui se contracte éprouve la variation *négative*, le second, qui *détaille*, voit, au contraire, *augmenter le potentiel positif* de sa surface (v. Bardet, *Traité d'Électricité médicale*). Ainsi le muscle serait un transformateur d'énergie; il transformerait en travail l'électricité reçue, et la variation négative ne serait qu'une transformation de mouvement (D'Arsonval). [V. MUSCLE ARTIFICIEL.]

En ce qui concerne l'*électrotonus* de Du Bois-Reymond, Matteucci a reproduit les mêmes phénomènes en agissant sur un fil de platine entouré de chanvre humide, au lieu d'agir sur un nerf. On peut donc considérer le nerf comme un composé électrolytique quelconque, et l'état électrotonique comme dépendant tout simplement de réactions chimiques analogues à celles qui se passent dans la *PILE SECONDAIRE* de Planté.

En dehors des diverses hypothèses proposées pour expliquer les phénomènes du courant propre des muscles et des nerfs, une question de haute physio-

logie s'est naturellement posée: La vie elle-même, dans toutes ses manifestations, n'est-elle pas due à un ensemble de phénomènes purement électriques? *Liaison nerveuse* et l'électricité ne sont-ils pas identiques? Plusieurs physiologistes n'ont pas hésité à adopter cette manière de voir. S'appuyant sur l'existence bien avérée de courants électriques dans l'organisme normal, sur la possibilité de suppléer, dans une certaine mesure, par l'action de la pile, à l'action des centres nerveux, ils ont admis que l'électricité engendrée dans le cerveau serait lancée, par l'acte de la volonté, à travers le système nerveux dans la direction où l'effet doit être produit. Un courant continu circulerait dans le système ganglionnaire pour produire les phénomènes de la vie organique, les transports des fluides à travers les tissus et les sécrétions. La surexcitation du cerveau par différentes causes, telles que la peur, la colère, l'enthousiasme, donnerait lieu à une production surabondante d'électricité, qui se traduirait à l'extérieur par la rapidité plus grande des battements du cœur, l'accélération de la respiration et une énergisante des contractions musculaires. Quelque académique que soit cette théorie, elle n'en soulève pas moins de graves objections. En effet, si l'on compare la vitesse de transmission des impressions nerveuses à celle de l'électricité, on trouve une première différence: Helmholtz, qui s'est occupé de cette question, a reconnu que chez les grenouilles la vitesse de propagation de l'agent nerveux ne dépasse pas 20 mètres par seconde; or, dans le même temps, l'électricité parcourt 200,000 à 300,000 kilom. Une simple ligature posée sur un nerf lui enlève le pouvoir de communiquer l'influx nerveux sans lui enlever la conductibilité électrique. Il en est de même si on désorganise la pulpe nerveuse, le névrite restant intact. D'ailleurs, quelque temps après sa séparation de l'organisme, le nerf perd son excitabilité, sans devenir moins bon conducteur de l'électricité. Nous dirons donc avec Liebig: « Il est certain qu'un grand nombre d'actions que nous constatons dans les corps vivants sont produites par des causes physico-chimiques; mais ce serait aller trop loin que de vouloir conclure que toutes les forces qui agissent dans l'organisme sont identiques à celles qui régissent la matière inerte. »

Action physiologique de l'électricité. — Lorsqu'on aborde l'étude des phénomènes physiologiques provoqués par l'électricité, on est frappé par la divergence des opinions émise sur des faits qui, au premier abord, paraissent cependant faciles à contrôler. Cela tient à ce que les observateurs, même les plus consciencieux, ont souvent expérimenté dans des conditions différentes et se sont trop hâtés de généraliser des faits essentiellement particuliers. Il ne faut pas oublier, en effet, qu'il s'agit ici d'étudier l'action d'une force, encore peu connue dans son mécanisme, sur des tissus dont les propriétés physico-chimiques sont peut-être moins connues encore. Dans ces conditions on se trouve forcément en présence de faits souvent contradictoires et qui rarement ont une signification précise. Nous nous bornerons donc à résumer les phénomènes principaux qui ont été observés dans l'application physiologique de l'électricité statique et de l'électricité dynamique.

1° Électricité statique. — Lorsqu'on se trouve dans le voisinage d'une puissante machine électro-statique en fonction, on éprouve une sensation spéciale de *toile d'araignée* sur la peau, sensation due probablement au frottement des molécules d'air mises en mouvement par un phénomène d'influence électrique.

Si à ce moment une ÉTINGELLE est tirée de la machine, on éprouve un ébranlement spécial comparable, toutes proportions gardées, au choc en retour de la poudre. Ces sensations sont bien plus prononcées si on se place sur un labourer isolant en communication avec la machine; on éprouve alors une sensation de chaleur aux extrémités, la peau se couvre d'une légère transpiration, les cheveux se hérissent; il se produit en somme une stimulation générale du système nerveux et du système vasculaire (*bain électrique*). Si on approche du sujet, électrisé et isolé, une pointe métallique, il éprouve dans la région du corps la plus rapprochée de la pointe métallique, une sensation de fraîcheur plus ou moins prononcée et très agréable (*souffle électrique*). L'explication de ce phénomène est la même que pour la sensation de toile d'araignée: ce sont des molécules d'air électrisées qui étant repoussées brusquement, produisent un véritable courant d'air. Si maintenant on approche du sujet un excavateur en forme de boule, il se produit une *étincelle* qui, si elle est un peu forte, s'accompagne d'une secousse générale avec des contractions musculaires énergiques. Si, au lieu d'une machine électrique ordinaire, on emploie la *BOURRILLE* de LEYNE ou de grandes batteries, les effets des décharges électriques rappellent ceux de la foudre et par leur énergie peuvent amener une véritable *sédation* suivie de syncope et même de la mort du sujet.

2° Électricité dynamique. — Dans l'action physiologique de ce mode d'électricité, il y a quelquefois une différence marquée entre l'action des courants galvaniques continus et celle des courants d'induction. Nous allons donc passer en revue les principaux phénomènes observés dans l'application des courants galvaniques aux divers tissus, nous réservant de résumer dans un paragraphe final l'action des courants induits qui est spéciale, dans certains cas.

Courants continus. — **1° Centres nerveux.** Le phénomène le plus intéressant dans l'électrisation de la *moelle épinière* est l'abolition des fonctions réflexes. Tous les physiologistes savent que chez un animal décapité les fonctions réflexes sont très intenses; or si, en se mettant dans ces conditions d'expérimentation, on fait, à l'exemple de M. Onimus, passer un courant centrifuge, c'est-à-dire descendant, dans la moelle épinière, on remarque que les réflexes diminuent peu à peu pour être abolis au bout d'un certain temps. Si on supprime le courant galvanique, les réflexes reparaissent progressivement. D'un autre côté, d'après M. Onimus, les courants centripètes, ou ascendants, produiraient l'effet inverse, c'est-à-dire augmentent le pouvoir réflexe. Mais, comme dans un certain nombre d'expériences, ainsi que l'a d'ailleurs reconnu M. Onimus lui-même, les courants ascendants ont donné les mêmes résultats physiologiques que les courants descendants, les avis sont encore trop partagés sur ce genre d'action des courants ascendants pour qu'il soit permis de conclure d'une façon définitive. En ce qui concerne le *cerveau*, on a bien observé, à la suite de l'électrisation de cet organe, de l'insensibilisation générale, de l'hébété, de la stupeur; mais, comme en somme les réactions inflammatoires produites par l'application du courant galvanique peuvent déterminer les mêmes phénomènes, on ne peut rien formuler de précis à cet égard.

2° Nerfs moteurs. Si on fait traverser un nerf moteur par un courant continu, on remarque des contractions musculaires dans la région où ce nerf se distribue; mais ces contractions ne se manifestent qu'au mo-

ment de l'ouverture et de la fermeture du courant, ou à un seul de ces deux moments, suivant les conditions de fatigue dans lesquelles se trouve l'animal sur lequel on opère. L'importance du sens du courant (ascendant ou descendant) n'a pas encore été déterminée; suivant certains physiologistes le courant ascendant serait moins actif que le courant descendant (Onimus); d'après Duchenne de Boulogne, l'action serait la même, quelque direction que l'on donne au courant; le phy-

siologiste allemand Eckhardt prétend avoir découvert que le courant ascendant paralyse et que le courant descendant excite, tandis que Remak a été conduit par ses expériences à soutenir précisément le contraire. Comment conclure, après des avis aussi partagés? Quoi qu'il en soit, voici à titre de document les résultats qui ont été obtenus par Cl. Bernard, qui s'est livré à ce sujet à un grand nombre d'expériences, et qui ont été résumés dans le tableau suivant :

PÉRIODES.	COURANT DESCENDANT.		COURANT ASCENDANT.	
	Fermeture.	Ouverture.	Fermeture.	Ouverture.
1 ^o Nerf sain.	Contraction.	Rien.	Contraction.	Rien.
2 ^o Nerf fatigué.	Contraction.	Contraction.	Contraction.	Contraction.
3 ^o Nerf très fatigué.	Contraction.	Rien.	Rien.	Contraction.
4 ^o Nerf épuisé.	Contraction.	Rien.	Rien.	Rien.

Pendant le passage du courant il ne se produit aucune contraction, mais la propriété excito-motrice du nerf se trouve modifiée. Si l'action de l'électricité n'est pas prolongée trop longtemps, on observe une augmentation de l'excitabilité lorsqu'on emploie un courant ascendant, tandis que le courant descendant produit une diminution de cette même excitabilité. Mais si l'on continue à faire agir le courant dans un sens ou dans l'autre, la désorganisation chimique des tissus survient et abolit complètement le pouvoir excito-moteur.

3^o *Nerfs sensitifs.* — Ici le seul phénomène résultant de l'action des courants galvaniques est le symptôme *douleur*, car les mouvements qui s'observent dans ce cas sont dus à un acte réflexe et non direct.

4^o *Système musculaire.* — Les courants continus provoquent des contractions lentes et progressives sur les muscles à *fibres lisses*. Les muscles à *fibres striées* se comportent différemment : l'ouverture et la fermeture du courant déterminent une contraction brusque; celle qui survient au moment de la fermeture est plus énergique que l'autre. Lorsque les animaux sur lesquels on opère ont été préalablement soumis à l'action du curare, la contraction au moment de l'ouverture du courant n'existe pas (Tripier). Pendant le passage du courant, le muscle éprouve un raccourcissement, c'est ce que l'on a appelé l'état *galvano-tonique* (Remak). Ce phénomène, sur lequel on a bâti une foule de théories, serait tout simplement dû, d'après l'appréciation bien naturelle du Dr G. Bardet, aux variations d'intensité du courant, qui agissent comme pourraient le faire des fermetures ou des ruptures de courants très faibles. Ces variations elles-mêmes sont dues tant aux mouvements des électrodes qu'aux réactions chimiques et à la polarisation, qui changent la conductibilité d'un moment à l'autre.

5^o *Fonctions organiques.* — En ce qui concerne la *circulation du sang*, on a constaté qu'on peut accélérer les mouvements du cœur en excitant les nerfs cardiaques par un courant galvanique. Par l'excitation du pneumo-gastrique, au contraire, on peut diminuer la rapidité des battements du cœur et provoquer même l'arrêt momentané de cet organe en diastole. La circulation capillaire est modifiée par le passage des courants continus : il se produit une congestion

de la région soumise à l'action galvanique, principalement aux environs des points d'application des électrodes, d'où il résulte une nutrition plus active dans la région.

L'action des courants continus, ou rarement interrompus, sur les organes de la *digestion* est très remarquable : il se produit, par l'excitation des fibres lisses, des contractions lentes et progressives du tube intestinal, et ces contractions sont les plus énergiques du côté où est placé le pôle négatif. Cette action physiologique des courants galvaniques a trouvé une heureuse application dans la thérapeutique de l'occlusion intestinale.

En ce qui concerne les *sécrétions*, on peut dire en général que les fonctions des glandes sont augmentées par l'action des courants continus et constants.

Courants induits. — En général, l'électricité d'induction agit comme l'électricité dynamique au moment de l'ouverture et de la fermeture du courant; néanmoins, comme les interruptions de courant sont ordinairement très rapides, il se produit certains phénomènes qui donnent lieu à quelques considérations particulières. Dans l'application *aux centres nerveux* et principalement à la moelle épinière, il se produit des contractions générales et une douleur violente, comme à l'ouverture et à la fermeture des courants galvaniques. Pour les *nerfs moteurs*, la contraction des muscles auxquels se rendent les nerfs ne se produit que si les interruptions du courant sont relativement lentes, car dans les intermittences trop rapides le nerf se tétanise et, perdant son excitabilité, ne peut plus provoquer de contractions musculaires. Dans la *faradisation des nerfs sensitifs*, la douleur provoquée est d'autant plus vive que les interruptions sont plus fréquentes et que la chute du potentiel est plus brusque, comme cela arrive dans les courants de tension (bobine à fil fin et long). Pour les *muscles*, au contraire, si l'on veut provoquer des contractions énergiques, il faut employer des courants de grande quantité et de faible tension (bobines à gros fil). En outre, si les interruptions étaient trop rapides, elles amèneraient la tétanisation du muscle; il faut donc avoir soin de modérer la fréquence des intermittences, comme on le fait pour la faradisation des nerfs moteurs. Quant aux *fonctions organiques*, elles sont en général peu modifiées par l'application de l'électricité d'induction, qui n'a qu'une faible action sur la

contractilité des fibres lisses. Aussi l'excitation de l'estomac et de l'intestin par les courants induits n'a-t-elle donné que des résultats peu probants lorsqu'on a voulu l'employer dans les cas d'occlusion intestinale.

Dr X. PORTAFAX.

PIANO ÉLECTRIQUE. Appareil destiné à enregistrer les improvisations musicales. Du Moncel a construit en 1836 le premier appareil de ce genre fonctionnant par l'électricité; son système a été modifié par M. Cross. En 1873, M. Roncetti a exposé à Vienne un enregistreur qu'il a appelé *mélodraphe*. En 1881 M. Carpentier a exposé à Paris un *mélodraphe* et l'a successivement perfectionné.

PIANO-SIRÈNE. — (V. SIRÈNE ÉLECTRIQUE.)

PIÉZO-ÉLECTRICITÉ (du grec *piezo*, je presse). — Production d'électricité dans certains cristaux lorsqu'ils sont soumis à une pression plus ou moins forte. Le type de ces cristaux est le quartz. En pressant ce cristal on développe une certaine quantité d'électricité qui se distribue suivant des axes de position bien définie. M. Curie a découvert cette propriété particulière du quartz, qui a de l'importance, puisqu'elle est mise à profit pour constituer une véritable pile-étalon applicable aux expériences d'ÉLECTROMÉTRIE.

PILE. — On donne aujourd'hui le nom commun de *pile* aux appareils employés à la production de l'énergie électrique en utilisant les actions chimiques, thermiques, lumineuses, ou encore les actions de contact. Ce nom leur vient de la forme qu'avait d'abord la pile que Volta composait de rondelles de cuivre, de zinc et de drap, empilées les unes sur les autres.

Nous donnerons d'abord la description de la *pile de Volta* et de celles qui n'ont plus qu'un intérêt historique; ce sont : les *piles à tasses*, les *piles à angles*, la *pile de Wollaston* et la *pile de Manoh*; nous décrirons ensuite les principales piles actuellement en usage, en les classant de la façon suivante :

- I. — Piles hydro-électriques;
- II. — Piles thermo-électriques;
- III. — Piles photo-électriques.

Les piles hydro-électriques peuvent se subdiviser elles-mêmes en plusieurs groupes, savoir :

- Les Piles à un liquide sans dépolarisant;
- Les Piles à un liquide et dépolarisant liquide ou solide;
- Les Piles à deux liquides.

Nous indiquerons ensuite les principaux types de piles qui, bien que rentrant dans la classification générale précédente au point de vue de leur principe, ont reçu des modifications dans leur construction pour les rendre plus facilement applicables à certains usages; ce sont :

- 1^o Les Piles à circulation;
- 2^o Les Piles-étalons;
- 3^o Les Piles à gaz;
- 4^o Les Piles médicales;
- 5^o Les Piles sèches ou humides.

ANGIENNES PILES

Pile de Volta ou Pile à colonne. — La *pile de Volta* se compose d'une série de rondelles de cuivre, de zinc et de drap imbibé d'eau légèrement acidulée, rangées toujours dans le même ordre, cuivre, zinc,

drap, etc., entre trois colonnes de verre réunies par deux pièces en bois dont l'une forme le pied de l'appareil et l'autre le chapeau de la pile (fig. 1). La pile de Volta est dite *isolée* lorsque la rondelle inférieure n'est pas autrement en communication avec le sol que par l'intermédiaire du pied en bois et de la table qui le supporte. Le bois est, en effet, assez mauvais conducteur de l'électricité pour que l'on puisse considérer la pile comme séparée du sol. Elle est dite *non isolée* lorsque l'on en met l'une des extrémités en communication avec le sol, soit au moyen d'une chaîne métallique, soit simplement en la touchant avec le doigt mouillé. Dans la pile isolée, les extrémités cuivre et zinc, qui prennent le nom de pôles de la pile sont chargées, la première d'électricité négative et la seconde d'électricité positive, parce que la rondelle terminale de chaque extrémité joue simplement le rôle de conducteur métallique. La tension de l'électricité est à peu près la même aux deux pôles, comme on le vérifie aisément à l'aide d'un électroscope. Le milieu de la pile, au contraire, ne donne pas trace d'électricité. La tension électrique, qui croît à peu près en progression arithmétique du milieu aux extrémités, est, d'ailleurs, d'autant plus forte que les rondelles sont plus nombreuses et que le liquide dont sont imbibées les rondelles de drap est plus acide. Lorsqu'on touche en même temps les deux pôles de la pile avec les doigts des deux mains mouillées, on éprouve une commotion analogue à celle que produit la décharge de la BOUTEILLE DE LEYDE, mais moins forte. Si l'on fixe aux pôles de la pile deux fils métalliques, on voit jaillir une étincelle entre les extrémités de ces fils lorsqu'on les rapproche suffisamment; si l'on met ces fils en contact par leurs extrémités, les deux électricités se recomposent; mais, comme il s'en dégage à chaque instant de nouvelles quantités, il résulte de leur marche à l'encontre l'une de l'autre un courant que l'on peut constater à l'aide du GALVANOMÈTRE.

Dans la pile non isolée, on ne trouve plus que l'une ou l'autre des deux électricités, l'électricité positive si c'est l'extrémité cuivre qui est en contact avec le sol et l'électricité négative dans le cas contraire. La tension électrique est nulle au pôle qui communique avec le sol et maximum à l'autre pôle; elle varie, d'ailleurs, à peu près en progression arithmétique d'une extrémité à l'autre.

Presque tous les métaux peuvent deux à deux former les couples ou éléments d'une pile de Volta. Le même métal se charge, d'ailleurs, tantôt d'électricité positive, tantôt d'électricité négative. Ainsi le zinc, le fer, l'étain, le plomb, le bismuth et l'antimoine s'électrisent positivement lorsqu'ils sont accouplés au cuivre, tandis que l'or, l'argent et le platine s'électrisent négativement.

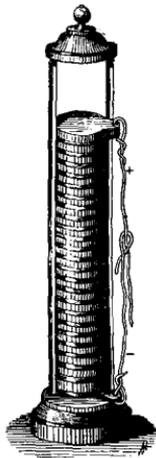


Fig. 1. — Pile de Volta.

Théorie de la pile de Volta. — Volta, dès qu'il eut connaissance des expériences de Galvani et qu'il les eut reproduites, songea à attribuer les contractions observées sur le cadavre de la grenouille à l'électricité développée dans l'arc métallique qui servait à mettre en communication les nerfs lombaires avec les muscles cruraux; et ces connotations se trouvant plus fortes lorsque l'arc était formé de deux métaux différents, il admit que c'était le contact de ces métaux qui dégagait l'électricité en les constituant l'un à l'état positif, et l'autre à l'état négatif, de sorte que la commotion produite était simplement due à la recombinaison des deux électricités à travers le corps de l'animal. C'est ainsi qu'il fut conduit à l'hypothèse suivante : le contact de deux substances hétérogènes quelconques donne naissance à une force électromotrice qui se manifeste par la séparation d'une partie de leur fluide neutre et s'oppose ensuite à la recombinaison des deux électricités contraires dont elles se sont chargées respectivement. Cette force électromotrice constitue l'une des substances à l'état positif, l'autre à l'état négatif, et la différence algébrique des deux électricités dont elles sont chargées reste constante, toutes choses égales d'ailleurs; de sorte que, si la charge de l'un des corps augmente par une raison quelconque, celle de l'autre diminue d'autant. Les deux substances en contact peuvent se charger de la même électricité, lorsque, par exemple, on les met en contact avec une source n'en produisant qu'une seule; mais l'une d'elles est alors plus chargée que l'autre et la différence fournit encore la mesure constante de la force électromotrice. La quantité d'électricité dégagée variant, toutes choses égales d'ailleurs, avec la nature des corps en contact, Volta les divisa en bons et mauvais électromoteurs, la première classe comprenant principalement les métaux, le charbon calciné, etc.; la seconde les liquides, les corps organisés, etc.

Cette théorie de Volta rendait bien compte des faits et, d'ailleurs, elle était basée sur des expériences concluantes. En effet, lorsqu'on sépare l'un de l'autre deux disques métalliques que l'on a mis en contact en les tenant par des marches isolants, on les trouve manifestement chargés d'électricités contraires, dont la présence est facilement mise en évidence à l'aide d'un électroscope.

Les expériences de sir William Thomson ont mis hors de doute l'établissement d'une différence de potentiel au contact de deux substances hétérogènes. Mais toutes les fois que l'on aura à considérer une chaîne fermée constituant un circuit, et que toutes les parties de cette chaîne seront à la même température, la somme des forces électromotrices de contact développées ne sera différente de zéro que si les diverses substances qui constituent la chaîne réagissent chimiquement les unes sur les autres (loi de Volta). [V. Piles thermo-électriques, page 640].

Joule a énoncé la loi suivante : La force électromotrice d'une pile est proportionnelle à la quantité de chaleur développée par les réactions chimiques qui se produisent dans la pile. Cette loi est sujette à de nombreux exceptions.

Dans certains cas, avec la pile Grove, par exemple, on constate ce phénomène singulier que la force électromotrice développée est supérieure à la quantité de chaleur dégagée par les réactions et que la pile se refroidit.

Le problème qu'ont dû se proposer de résoudre les inventeurs de piles a été de constituer des éléments avec des substances peu coûteuses et fournissant une force électromotrice aussi élevée que possible. La plus grande difficulté consista à créer une pile dans laquelle les diverses surfaces de contact conservent

toujours la même nature. Il faut que les produits des réactions s'éliminent au fur et à mesure. C'est le but qu'on s'est proposé d'atteindre en employant des liquides dits *dépotarisants*.

Pile à auges. — La disposition de la pile de Volta présente cet inconvénient, que le poids des rondelles métalliques comprimées assez fortement les rondelles de drap pour en exprimer le liquide qui, en coulant le long de la colonne, entretient entre les deux pôles une communication par l'intermédiaire de laquelle le courant se produit aux dépens de celui qu'on voulait faire naître dans les rhéophores; et, d'un autre côté, les rondelles de drap, bientôt desséchées, ne remplissent plus qu'imparfaitement l'office auquel elles étaient destinées. La *pile à auges*, qui peut être assimilée à une pile à colonne horizontale, est construite de manière à obvier à ces deux inconvénients (fig. 2). Elle est établie dans une boîte rectangulaire en bois, enduite intérieurement d'un mastic isolant. Les plaques cuivre et zinc, soudées entre elles deux à deux, sont implantées parallèlement aux petits côtés de la boîte à une faible distance les unes des autres et laissent entre elles des intervalles en forme d'*auges*, où l'on verse un liquide acidulé remplissant exactement les mêmes fonctions

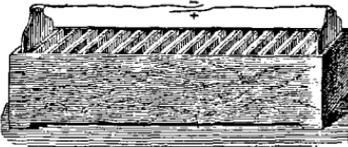


Fig. 2. — Pile à auges.

que celui dont on imprègne les rondelles de drap dans la pile à colonne. On établit la communication entre les deux pôles au moyen de fils métalliques fixés à des plaques de cuivre plongeant dans les auges extrêmes. La théorie de cette pile est identique à celle de la pile à colonne. La pile à auges présente ce grand avantage qu'il n'y a pour la mettre en service qu'à verser le liquide dans les différentes auges. On le vide aussitôt qu'on n'en fait plus usage, pour éviter l'usage, devenue inutile, des plaques de zinc, sous l'influence de l'acide.

Pile à tasses. — La *pile à tasses* se compose d'une série de tasses rangées ordinairement en ligne droite et réunies les unes aux autres par des arcs métalliques formés de deux parties, cuivre et zinc, soudées par leurs extrémités. Le premier arc plonge dans la première tasse par sa partie cuivre et dans la seconde par sa partie zinc; le second plonge de même par sa partie cuivre dans la seconde tasse et par sa partie zinc dans la troisième, et ainsi de suite. Chacune des tasses a été préalablement remplie du liquide acidulé nécessaire pour établir la communication entre les différents arcs. Le circuit se ferme au moyen de fils métalliques plongeant dans la première et dans la dernière tasse.

Pile de Wollaston. — La pile à tasses est la plus incommode; aussi ne s'en sert-on pas habituellement; nous n'en avons dit un mot que parce qu'elle peut être considérée comme le type rudimentaire de la pile de Wollaston, qui a joui presque exclusivement pendant longtemps de la faveur des physiciens. Dans la *pile de Wollaston* ou *pile à bocaux*, les arcs métalliques de la pile à tasses sont fixés à une pièce en bois qui permet de les manœuvrer tous en même temps pour les plon-

gor dans les bœaux on les en retire (fig. 3). Ces ares ont reçu, d'ailleurs, une disposition qui permet d'obtenir une énergie beaucoup plus grande : chaque plaque de zinc, soudeée par une languette à la feuille de cuivre du même couple (selon le système de Volta), est entourée sur les deux faces par la feuille de cuivre du couple suivant de manière à l'approcher de très

près, sans toutefois la toucher. Cette disposition a pour objet de diminuer la résistance intérieure. La pile se termine à ses deux pôles par un élément cuivre, la première plaque de zinc étant suspendue à une languette de cuivre qui communique avec le premier rhéophore et la dernière étant entourée par la dernière feuille de cuivre qui communique avec le

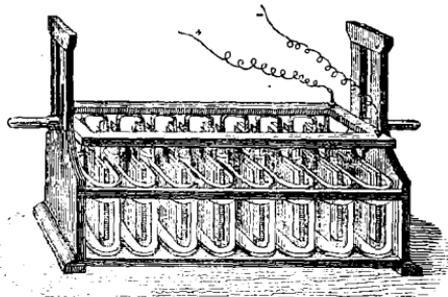


Fig. 3. — Pile de Wollaston.

second rhéophore. Le pôle positif correspond au dernier élément zinc, c'est-à-dire à la dernière feuille de cuivre qui plonge dans le dernier bocal sans toucher le dernier zinc. On ajoute habituellement à l'eau destinée à remplir les bœaux un seizième d'acide sulfurique et un vingtième d'acide azotique.

Pile de Münch. — La pile de Wollaston a reçu de M. Münch, professeur de physique à Strasbourg, une disposition plus simple : M. Münch fait plonger dans une même auge en bois, mastiquée à l'intérieur et remplie du liquide acidulé, l'ensemble des couples de Wollaston fixés à un même cadre en bois. La pile de Münch présente un volume beaucoup moindre que la pile de Wollaston et ses effets sont aussi énergiques ; mais le courant s'y affaiblit plus rapidement.

PILES ACTUELLEMENT EN USAGE

Depuis quelques années des recherches actives ont été faites pour arriver à établir des piles d'un usage plus commode. Il existe aujourd'hui une foule de piles ; nous ne saurions les décrire toutes, mais il nous paraît du moins indispensable de donner une classification rationnelle et de citer les piles les plus employées.

1. — PILES HYDRO-ÉLECTRIQUES.

Les piles hydro-électriques peuvent se subdiviser en trois groupes, savoir :

- 1^{er} groupe. — Piles à un liquide sans dépolarisant.
- 2^e groupe. — Piles à un liquide à dépolarisant liquide ou solide.
- 3^e groupe. — Piles à deux liquides.

Dans les piles à deux liquides, l'un d'eux joue le rôle de dépolarisant ; mais ces deux liquides ne sont pas mélangés ainsi que cela existe dans les piles du 2^e groupe à dépolarisant liquide.

1^{er} groupe. — PILES À UN LIQUIDE SANS DÉPOLARISANT.

Pile Smée. — Cette pile se compose d'une lame

d'argent recouverte chimiquement de noir de platine, suspendue entre deux lames de zinc amalgamé. Elle est très employée en Angleterre, surtout pour la GALVANOPLASTIE. Le liquide excitateur se compose de 4 parties d'acide sulfurique pour 7 parties d'eau. Cette pile n'est pas avantageuse lorsqu'on ne doit pas l'employer d'une façon continue, attendu que lorsque le circuit reste ouvert le zinc s'attaque en pure perte.

Pile Walker. — C'est une modification de la pile Smée. L'électrode positive, en argent platiné, est située entre deux plaques de zinc, se trouve constituée au contraire par deux plaques de charbon de corne platiné entre lesquelles on place une lame de zinc amalgamé ; l'extrémité inférieure de cette lame plonge dans une petite cavité en gutta-percha contenant quelques gouttes de mercure, de sorte qu'elle est toujours bien amalgamée. Le liquide excitateur se compose de 3 parties d'eau pour 1 d'acide sulfurique. Cette pile est très facile à entretenir, et peut rester un an et plus sans qu'on y touche.

Pile Tyer. — C'est encore une modification de la pile Smée. L'électrode positive, en argent platiné, est suspendue dans un vase de verre ; au fond de ce vase se trouve une certaine quantité de mercure dans lequel baignent des débris de zinc, qui forment l'électrode négative ; pour recueillir le courant, on fait plonger jusqu'au fond du vase une tige de cuivre recouverte de gutta-percha et terminée à son extrémité par une boule de zinc. Le liquide employé est de l'acide sulfurique étendu de 20 fois son volume d'eau. L'entretien est presque nul : lorsque ces éléments sont munis d'un couvercle fermant assez bien pour empêcher l'évaporation, ils peuvent rester deux ou trois ans sans qu'on y touche.

Pile Ebner. — Même dispositif que la précédente ; mais la lame d'argent platinée est remplacée par une lame de plomb platinée. Cette pile est aussi très constante.

Pile suisse. — Elle se compose d'un cylindre de charbon creux d'assez grandes dimensions, dans l'intérieur duquel se trouve suspendue une lige ou une lame de zinc amalgamé, le tout plongeant dans un vase de verre ou de grès contenant une solution soit de chlorure de sodium (sel marin), soit d'alun. L'entretien de cette pile est très facile et n'exige aucune autre précaution que de faire, à de longs intervalles, dégorgier le cylindre de charbon dans de l'eau pour enlever les cristaux qui ont pu s'y déposer.

Pile Maïche. — Dérivée de la pile Walker, elle se compose d'un vase poreux percé de gros trous et rem-

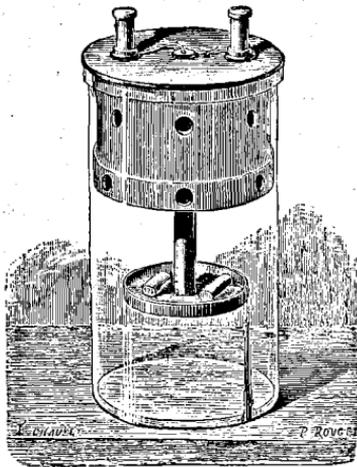


Fig. 4. — Pile Maïche.

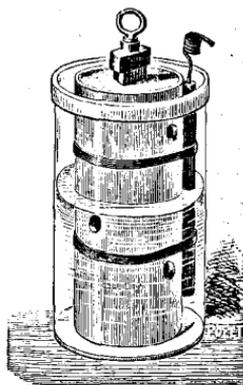


Fig. 5. — Pile Maïche, modèle des Chemins de fer.

faible mais très constante, ne demande pour ainsi dire aucun entretien. La fig. 5 donne une autre disposition de la pile de M. Maïche.

Pile au coke de pétrole. — Elle dérive aussi de la pile Walker; l'électrode positive est constituée par une lame de charbon de corne entourée de granulés de coke de pétrole tassés dans un vase poreux percé de trous. On plonge ce vase poreux dans un vase de verre contenant une solution de chlorhydrate d'ammoniaque. L'électrode négative est un bâton de zinc amalgamé. L'entretien de cette pile est pour ainsi dire nul et se borne à renouveler le zinc lorsqu'il est usé, ainsi que le liquide.

Pile Buchin-Tricoche. — C'est encore une pile dérivée de la pile Walker; elle se compose d'une série de baguettes de CHARBON A LUMIÈRE réunies entre elles à la partie supérieure par une tôle métallique percée à son centre d'un trou suffisant pour y laisser passer un bâton de zinc amalgamé et isolé de cette tôle métallique par un anneau de caoutchouc. Ces charbons sont verticaux et forment pour ainsi dire les génératrices d'un cylindre. Le tout est plongé dans une solution non saturée soit de bisulfate de soude, soit d'acide sulfurique étendu de 12 parties d'eau, soit enfin de chlorhydrate d'ammoniaque. (Cette

pile de morceaux de coke de corne platiné (fig. 4); ce vase poreux est traversé verticalement par un tube d'ébonite qui soutient, à quelques centimètres en dessous, une soucoupe en porcelaine dans laquelle on met des morceaux de zinc et une petite quantité de mercure; les morceaux de coke platiné sont reliés par un fil de platine à la borne + placée sur le couvercle; un autre fil de platine est attaché à la borne — et descend par le tube central en ébonite jusqu'au mercure. Le tout est plongé dans une dissolution presque saturée de chlorhydrate d'ammoniaque, de manière que le vase contenant le charbon platiné ne baigne qu'à moitié de sa hauteur. Cette pile, un peu

pile peut aussi s'employer avec du bichromate de potasse.)

Pile au magnésium. — Dans la catégorie des piles à un liquide sans dépolarisant rentre la pile au magnésium de M. D. Tommasi. Elle a pour électrodes du magnésium et du charbon; le liquide est une solution de sulfate mercurique dans du chlorure de sodium; on obtient ainsi une force électromotrice de 4,7 à 1,8 volt environ. Le prix élevé du magnésium a été un obstacle à l'emploi de cette pile.

2^e groupe. — PILES A UN LIQUIDE A DÉPOLARISANT LIQUIDE OU SOLIDE.

Pile Waren de La Rue. — Elle se compose d'un bâton de zinc non amalgamé et d'un fil d'argent entouré d'une couche assez épaisse de chlorure d'argent fondu, enfermé lui-même dans un cylindre en papier parchemin ouvert aux deux bouts; ce papier est destiné à empêcher les contacts accidentels entre le zinc et le chlorure dans l'intérieur de la pile. Le tout est plongé dans une solution à 25 de sel ammoniac pour 1.000 d'eau distillée. Le vase de verre contenant le liquide est fermé par un bouchon de paraffine destiné à empêcher l'évaporation et percé d'un petit

trou pour laisser échapper les gaz qui se forment pendant le fonctionnement de la pile.

Pile Skrivanow. — Elle est constituée par une plaque d'argent entourée d'une couche de chlorure d'argent maintenue par un sachet en papier parchemin et placée entre deux plaques de zinc; le tout est contenu dans un vase plat en ébonite pouvant former hermétiquement, et dans lequel se trouve une solution de potasse caustique. Cette pile, très énergique sous un petit volume, peut, à ce que prétend l'inventeur, se régénérer facilement en traitant par l'eau régale l'argent réduit sur la lame d'argent.

Pile Gaiffe. — Dérivée de la pile de La Rue, elle se compose d'une plaque de chlorure d'argent fondu autour d'une petite bandelette d'argent séparée d'une plaque de zinc par une couche assez épaisse de papier buvard imprégné d'une solution de chlorure de zinc à 5 ou 6 %; le tout est enfermé dans un étui en ébonite fermant hermétiquement, et, comme

il n'y a pas de liquide libre, le couple peut se placer dans toutes les positions. M. Gaiffe s'en sert surtout pour les appareils électro-médicaux. (Voir page 631, Piles médicales.)

Pile Leclanché. — Elle se compose d'une lame de charbon de corne plongeant dans un mélange par quantités égales de peroxyde de manganèse et de charbon de corne concassé contenu dans un vase poreux, percé ou non, qui plonge dans un récipient de verre contenant un bûton de zinc amalgamé et une solution saturée de chlorhydrate d'ammoniaque (fig. 6).

Dans un autre modèle, du même inventeur, la plaque de charbon est serrée contre des agglomérés de charbon de corne et de peroxyde de manganèse par des jarretières en caoutchouc, et séparée du bûton de zinc par un morceau de bois ou de porcelaine creusé en forme de gouttière (fig. 7); il n'y a plus de vase poreux, mais le liquide est le même; les



Fig. 6.
Pile Leclanché à vase poreux.

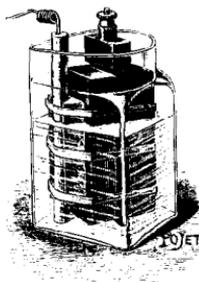


Fig. 7.
Pile Leclanché à plaques agglomérées.



Fig. 8.
Pile Leclanché-Barbier.

couples ainsi constitués sont moins résistants, mais la force électromotrice n'en est pas augmentée et ils se polarisent aussi vite que ceux à vases poreux. L'entretien de cette pile est presque nul; elle est aujourd'hui universellement employée en France pour la télégraphie, la téléphonie et les sonneries d'appartement.

MM. Bender et Francken donnent la formule suivante pour la fabrication des agglomérés de piles Leclanché :

Bioxyde de manganèse.....	40	p. 100
Graphite	44	—
Condron	9	—
Soufre	0,6	—
Eau	0,4	—

On commence par réduire ce mélange à l'état de poudre très fine, que l'on place ensuite dans des moules, et on lui fait subir une très forte compression. On chauffe la masse à une température de 350° C. environ, ce qui a pour effet de chasser l'eau, ainsi que les parties les plus volatiles du goudron. Une partie du soufre se combine avec les produits de la distillation, et le reste s'allie aux résidus non volatils pour les rendre plus fixes par un procédé analogue à celui de la vulcanisation du caoutchouc. (Journal du Gaz et de l'Électricité.)

M. Rothen, directeur adjoint des Télégraphes suisses, a fait une statistique portant sur 6.000 couples, afin de déterminer l'usage par couple; il est arrivé au chiffre suivant : usure par année, si les matières sont de première qualité : zinc, 26 grammes; sel ammoniac, 57 grammes; brides en gomme de Para, 0,231 pièce; il s'agissait de piles Leclanché à plaques agglomérées employées pour le service téléphonique. (Journal Télégraphique de Berne, XI^e volume, 1887, n° 3.)

Pile Leclanché Barbier. — L'élément Leclanché-Barbier est le modèle le plus récent de pile au manganèse. Il se compose d'un cylindre creux aggloméré, qui constitue le pôle positif. Le crayon de zinc en occupe le centre; le tout plonge dans une solution de sel ammoniac (fig. 8). Cette disposition est avantageuse, parce que le dépolarisant, symétriquement réparti autour du crayon de zinc, utilise également tous les points de sa surface intérieure. Le mélange aggloméré se compose de peroxyde de manganèse, de graphite et de brat soumis à l'action du soufre qui opère une vulcanisation analogue à celle du caoutchouc. Cette vulcanisation rend l'aggloméré solide, sonore, durable, et elle augmente la conductibilité.

Pile Goodwin. — M. Goodwin fabrique des vases poreux Leclanché en charbon aggloméré, qui offrent

moins de résistance intérieure que les vases poreux ordinaires et permettent d'obtenir un courant plus intense. Ils sont remplis du peroxyde de manganèse et de coke concassé, et munis d'une tige, avec vis, écrou et rondelle, ainsi que le montre la fig. 9.

La force électromotrice de l'élément est de 1,35 volt.



Fig. 9.



Fig. 10.



Fig. 11.

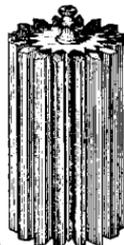


Fig. 12.

en charbon dits *vases à lumière*. Il en existe trois modèles, représentés fig. 10, 11 et 12.

Leurs dimensions sont les suivantes :

N ^{os}	HAUTUR.	DIAMÈTR.	SURFAC.
	millimètres.	millimètres.	décimètres carrés.
0.	140	70	38
2.	140	70	75
3.	200	200	500

Le n^o 0, octogone de 0^m,44 à 0^m,46 de hauteur, avec zinc circulaire, donne de vingt à vingt-cinq minutes de belle lumière, avec du sel ammoniac et de l'eau comme pour les piles Leclanché.

Pile Roberts. — Cette pile se compose d'un vase en verre contenant une solution de chlorhydrate d'ammoniaque ou de l'acide sulfurique dilué, où plongent un zinc amalgamé et un aggloméré muni d'une tige de charbon de corne. L'aggloméré est à base de peroxyde de plomb obtenu par le mélange d'un oxyde de plomb avec du permanganate de potasse ou de soude. La force électromotrice de cette pile est d'environ 2 volts; elle est constante.

Pile Niadot. — Elle ressemble à la pile Leclanché; mais le peroxyde de manganèse y est remplacé par de l'hypochlorite de chaux du commerce, et le liquide est de l'eau salée. Son entretien est aussi facile que celui de la pile Leclanché, à laquelle elle est un peu supérieure comme force électromotrice. Mais elle a le défaut de dégager du chlore.

Pile Marié-Davy. — C'est une pile au chlorure de plomb fondu, construite exactement, soit comme celle de Waren de La Itou, soit comme celle de Gaiffe au chlorure d'argent.

la résistance intérieure de 0,70 ohm et le courant a une intensité de 2 à 2 1/2 ampères. Ces vases poreux sont de plusieurs modèles; leur hauteur varie de 0^m,12 à 0^m,22. Ces piles conviennent pour sonneries, téléphones, télégraphes.

M. Goodwin fabrique également des vases poreux

Pile de Lalande et Chaperon. — Cette pile se compose, en principe, d'une lame ou d'un cylindre de zinc formant le pôle négatif, d'une solution de potasse caustique à 30 ou 40 %, comme liquide excitateur, et d'oxyde de cuivre mis en contact avec une surface métallique comme dépolarisant.

Les réactions génératrices du courant sont les suivantes : *le circuit étant fermé*, l'eau est décomposée, l'oxygène se porte sur le zinc et donne de l'oxyde de zinc, qui se combine à la potasse pour former un zincate alcalin excessivement soluble; quant à l'hydrogène, il réduit l'oxyde de cuivre à l'état métallique. A *circuit ouvert*, les matières demeurent inattaquées; aucune réaction ne se produit.

La maison de Branville construit plusieurs types d'éléments de Lalande et C^{ie} : des éléments hermétiques de forme carrée, des éléments à spirale, des éléments hermétiques en fonte et des éléments à auge.

La fig. 13 représente l'élément à spirale : A est la boîte en tôle servant à contenir la potasse solide pendant le transport et l'oxyde de cuivre lorsque la pile est montée; B est l'oxyde de cuivre; C, un fil de cuivre recouvert d'un tube de caoutchouc isolant et rivé sur la boîte A; ce fil traverse le couvercle pour former le pôle positif; D est une spirale de zinc amalgamé (supportée par une lame de laiton); E, un couvercle mobile; F, la borne du pôle négatif, et V, le vase en verre.

La fig. 14 donne la vue d'un élément hermétique en fonte: V est un vase en fonte mince ayant la forme d'un obus et constituant le pôle positif, AC un conducteur pour les jonctions, B l'oxyde de cuivre, D un zinc amalgamé fixé à la tige de laiton amalgamé K, G un bouchon de caoutchouc portant le zinc et la soupape H.

La fig. 13 représente un élément à auge à grande surface de hauteur. A auge en tôle formant le pôle positif; B couche d'oxyde de cuivre recouvrant le fond

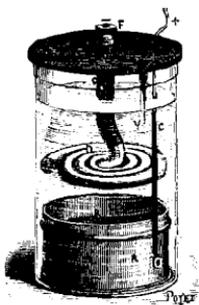


Fig. 13.

Pile de Lalande et Chaperon (élément à spirale).

de l'auge; C borne se fixant contre une plaque de cuivre portée par l'auge; D plaque de zinc amalgamé,



Fig. 14.

Pile de Lalande et Chaperon (élément hermétique).

fixée à une lame de laiton amalgamé; L supports isolateurs de la plaque de zinc; M borne du pôle négatif.



Fig. 15. — Pile de Lalande et Chaperon (élément à auge).

Les éléments doivent être hermétiques pour éviter l'action de l'acide carbonique de l'air sur la potasse caustique.

Dans les éléments à auge on verse sur le liquide du pétrole lourd, qui empêche le contact de

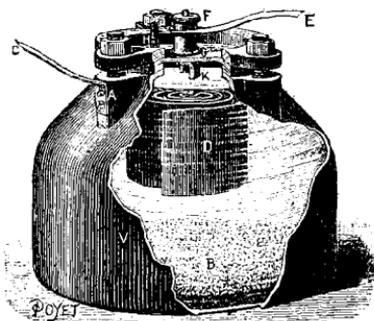


Fig. 16. — Pile de Lalande et Chaperon (élément hermétique à grande surface).

l'air. Les piles Lalande et Chaperon ont un bon rendement, mais leur force électromotrice est assez faible. L'entretien en est facile, mais demande quelques

précautions, à cause des brûlures que peut causer la potasse caustique.

La fig. 16 représente un élément hermétique à

grande surface (hauteur, 0^m,93; diamètre, 0^m,32), avec vase de fonte. La pile de Lalande a été combinée de façon à être employée pour la téléphonie militaire.

M. Caël, ingénieur des Télégraphes, a constaté que cet élément se maintient pendant cinq cents heures à court circuit, sans traces de POLARISATION, avantage dont la portée est facile à saisir.

Pile à électrodes de charbon sans métaux. — MM. D. Tommasi et Radiguet ont construit une pile au chlorure de sodium composée d'une cuvette rectangulaire en porcelaine, au fond de laquelle se trouve une plaque de charbon entourée d'une pâte de peroxyde de plomb constituant l'ane des électrodes de la pile; l'autre électrode est formée par une plaque de charbon semblable à la première, mais couverte à sa

partie supérieure de fragments de charbon de corne pulvérisé. Ces deux plaques sont placées l'une sur l'autre et séparées par une feuille de papier parcheminé, disposé de façon à partager la cuvette en deux compartiments cloisonnés.

Dans un modèle plus récent, l'électrode positive est constituée par un bâton de charbon recouvert d'une couche de peroxyde de plomb et renfermé dans un sac de toile (fig. 17). Cette électrode se place dans un tube de charbon percé de trous, et le tout est mis dans un vase de verre rempli de fragments de charbon de corne et d'une solution concentrée de chlorure de sodium (le niveau de cette solution ne doit pas dépasser le milieu du vase en verre). Cette pile a une force électromotrice de 0,6 à 0,7 volt; elle ne travaille qu'en circuit fermé; mais, comme elle se polarise rapi-

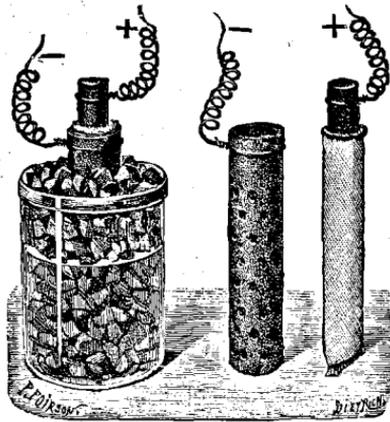


Fig. 17. — Pile à électrodes de charbon de MM. D. Tommasi et Radiguet.

dement, elle ne convient que pour des applications ne réclamant qu'un courant intermittent. L'entretien en est fort simple; il suffit de maintenir le liquide au même niveau en y ajoutant de l'eau pure.

M. D. Tommasi a donné la théorie suivante de la pile à électrodes de charbon; d'après M. Tschelitzow, le passage d'une molécule de peroxyde de plomb à l'état de peroxyde dégage 12,14 calories. La chaleur de formation du peroxyde de plomb anhydre (PbO) étant 51 calories, il s'ensuit que la chaleur de formation du peroxyde (PbO²) est 63,14 calories. Admettant une action exercée par le charbon sur l'eau, M. D. Tommasi explique comme suit ce qui se passe dans le vase de la pile; le charbon décomposant l'eau, en circuit fermé, il se formerait de l'acide carbonique et l'hydrogène serait mis en liberté selon la formule $C + 2 H_2O = CO_2 + 4 H$. Les effets thermiques de cette réaction sont 102,6 — 138,0 = — 35,4 calories.

D'autre part, dans le sac qui tient lieu de vase poreux, il y aurait réduction du peroxyde de plomb et formation d'eau d'après l'équation $PbO_2 + 4 H = Pb + 2 H_2O$, et les effets thermiques de cette réaction seraient: 138,0 — 93,44 = 44,56 calories. La chaleur résultant de ces deux réactions est la somme algè-

brique de leurs effets thermiques, soit 74,86 — 35,40 = 39,46 calories. Comme le volt correspond, selon certains auteurs, à 46,3 calories, la force électromotrice théorique de la pile à électrodes de charbon serait $39,46 : 46,3 = 0,85$ volt. Si l'on admet pour le volt le chiffre de 47,16 calories adopté par d'autres personnes, on trouve $39,46 : 47,16 = 0,84$ volt.

Les mesures directes ont donné le chiffre de 0,6 à 0,7 volt. Cette différence s'explique facilement quand on considère que la pile se polarise aisément et que, outre l'acide carbonique, il peut se former de l'oxyde de carbone, ce qui tendrait à diminuer la chaleur produite par la première réaction; que, de plus, des actions secondaires peuvent se manifester, et qu'enfin ces phénomènes sont certainement influencés par la température, le degré de pureté des matières en présence, etc. On observe, d'ailleurs, une différence analogue entre la force électromotrice théorique (2,13 volts) et celle déterminée par expérience (2,2 volts) dans la pile de de La Rive, qui se rapproche le plus de la pile à électrodes de charbon.

Pile Poggendorf. — Elle est constituée par des lames de charbon de corne et des lames de zinc amalgamé qui plongent dans un liquide composé

comme suit : eau, 1.000; bi-bromate de potasse, 120; acide sulfurique, 230. Très énergique au début, cette pile se polarise rapidement; ses dispositions ont été variées à l'infini, soit pour la forme des vases, soit pour la dimension et l'emplacement des lames de zinc ou pour la composition des liquides, soit enfin pour le tenouvement de ceux-ci afin de diminuer la polarisation.

Pile Grenet. — Cette pile (fig. 18) se compose d'un ballon en verre à large col B fermé par un couvercle



Fig. 18. — Pile Grenet à bouteille.

à balonnette supportant deux lames de charbon de corne parallèles *c* et *c'* entre lesquelles peut glis-

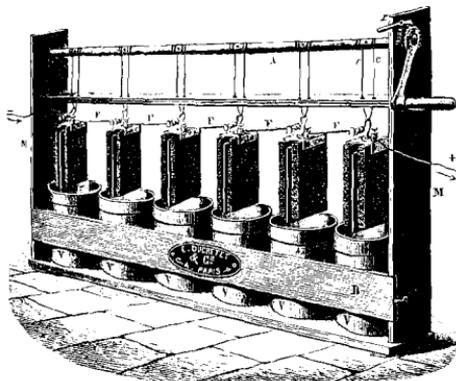


Fig. 19. — Pile à treuil.

ser dans un bâti en bois M, M supportant un axe horizontal A muni d'une manivelle et d'une roue à ro-

chet *r*. A cet axe A sont suspendus, par des cordes *c*, *c'*, les éléments réunis entre eux par les conducteurs F, F, F... En faisant tourner la manivelle dans un sens ou dans l'autre on immerge ou on soulève les éléments, dont la fig. 20 donne la vue perspective.

Pile Gaiffe. — La pile bouteille de Grenet a été perfectionnée et simplifiée par M. Gaiffe. Les deux

ser une lame de zinc amalgamée *z*. Cette lame est soutenue par une tige de laiton, qu'il suffit d'élever ou d'abaisser pour faire sortir le zinc du liquide ou l'y faire plonger, et par suite, pour mettre la pile au repos ou en activité. Le liquide, qui remplit le vase aux 3/4, se compose d'une solution saturée de bi-bromate de potasse additionnée de 200 grammes d'acide sulfurique par litre.

Ces mêmes éléments peuvent être disposés sous forme de pile à treuil (fig. 19). Les vases V sont pla-

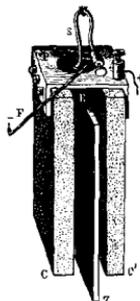


Fig. 20. — Pile à treuil (vue d'un couple).

ces dans un bâti en bois M, M supportant un axe horizontal A muni d'une manivelle et d'une roue à ro-

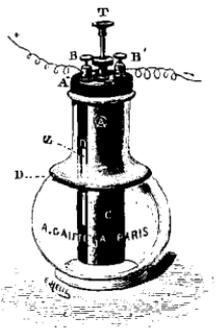


Fig. 21. — Pile Gaiffe.

lames de charbon de corne sont remplacées par un cylindre de charbon aggloméré C fendu suivant une génératrice sur la plus grande partie de sa longueur (fig. 21). Le charbon sort du moule avec cette rainure, dans laquelle on introduit le zinc amalgamé Z. L'ensemble (charbon et zinc) est supporté par un couvercle en ébonite muni d'un pas de vis enveloppant le goulot de la bouteille, qui est lui-même fileté au

moulage. La tige T sert à soulever ou à enfoncer le zinc; B et B' sont les bornes de prise de courant.

Pile à treuil de M. Trouvé. — La pile à arcs et à treuil de M. Trouvé se compose d'une boîte en chêne contenant six vases en ébonite surmontés d'un treuil à rochet et à encliquetage. Celui-ci a été combiné de

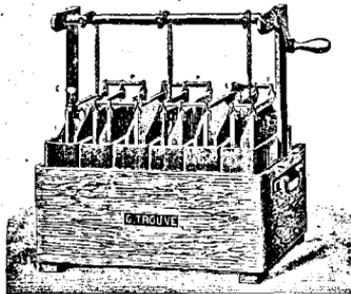


Fig. 22. — Pile à treuil de M. Trouvé.

manière à pouvoir descendre ou remonter plus ou moins les éléments dans le liquide, dont nous donnons plus loin la composition.

Un arrêt X en bois empêche les éléments de sortir complètement des vases en ébonite (fig. 22); mais en supprimant cet arrêt on peut enlever les éléments, pour vider ou remplir aisément les vases. La partie antérieure de la boîte en chêne est munie à cet effet d'une charnière qui permet de l'ouvrir et de sortir les vases sans déranger les éléments.

Chacun d'eux se compose d'une lame de zinc amalgamé et de deux charbons dont la partie supérieure est

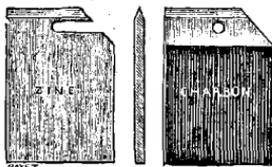


Fig. 23. — Pile à treuil de M. Trouvé (détail d'un couple).

entrée galvaniquement, dans le but de les consolider et de diminuer leur résistance (fig. 23.)

Le zinc amalgamé présente à sa partie supérieure une encoche au moyen de laquelle on le fixe à l'axe métallique recouvert de caoutchouc qui sert de support à tout le système; cette encoche permet d'enlever rapidement les zincs, soit pour les amalgamer et les nettoyer, soit pour les remplacer. Enfin les contacts sont établis au moyen de pinces à ressort d'un modèle très ingénieux.

Voici la composition du liquide excitateur :

Bichromate de potasse.....	4 kilogram.
Eau.....	8 "
Acide sulfurique à 66°.....	3,600 "

Autres piles au bichromate. — Nous citerons encore les piles au bichromate de potasse de MM. Gaston Tissandier, Buchin-Tricoche, La Rochelle, etc.

La pile de M. Gaston Tissandier a été étudiée en vue de son emploi pour la production des courants nécessaires aux MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES servant à la direction des aérostats.

La pile de MM. Buchin-Tricoche a été déjà décrite plus haut dans le groupe des piles à un seul liquide sans dépoliarisant; sa pile au bichromate a la même disposition et ne diffère que par la nature du liquide excitateur employé, qui dans le cas présent se compose d'une solution sulfurique de bichromate de potasse ou de soude.

La pile de M. La Rochelle est composée de lames de charbon et de zinc placées parallèlement et plongeant dans une dissolution de chloro-chromate de potassium additionnée de bioxyde de mercure pour entretenir l'amalgamation des zincs.

Pile à renversement de M. Trouvé. — M. Trouvé a construit, pour actionner les BOBINES D'INDUCTION,

pour alimenter les lampes minuscules de ses BOUX ÉLECTRIQUES, etc., une pile hermétique à un seul liquide, qui est représentée en coupe fig. 24. — Elle se compose d'un couple zinc et charbon enroulé dans un étui en caoutchouc durci hermétiquement clos. La moitié de la longueur de l'étui est occupée par le zinc et le charbon, l'autre moitié par le liquide excitateur composé d'une solution de bisulfate de mercure. Tant que l'étui conserve la position verticale, l'élément ne plonge pas dans le liquide; mais dès qu'il est renversé ou placé horizontalement, le courant prend naissance et dure jusqu'à épuisement du liquide excitateur.

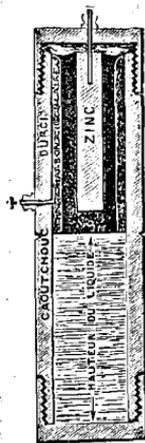


Fig. 24. — Pile à renversement de M. Trouvé (coupe).

Pile Pollak. — L'électrode positive de cette pile est formée d'un cylindre de charbon très poreux dont la partie inférieure est recouverte d'un dépôt de cuivre électrolytique; ce cylindre est suspendu à la partie supérieure d'un vase de verre dans le fond duquel se trouve un cylindre de zinc qui constitue l'électrode négative; le liquide excitateur est généralement une solution de chlorure d'ammonium ou de chlorure de sodium.

Au commencement et le cuivre des courants locaux qui ont pour effet de décomposer le sel et de former des chlorures cuivrés, ce qui amène une coloration bleue du liquide. Pendant cette première phase le couple se charge. Lorsqu'on met la pile en action, l'hydrogène naissant qui se développe au pôle positif décompose les sels de cuivre, mais ceux-ci se reforment sans cesse par l'action du charbon et la dépoliarisation est ainsi pratiquement obtenue.

Cette pile n'est guère applicable qu'en télégraphie; en regard à son faible débit; en voici les CONSTANTES :

Force électromotrice.....	0,932 volt.
Intensité.....	0,08 à 0,09 ampère.
Résistance intérieure, environ.....	1 à 1,20 ohm.

Pile Daniell.—Le pôle positif de ce couple est constitué par un vase poreux cylindrique en charbon aggloméré rempli en partie de grenaille de coke de cornue à gaz; le pôle négatif est formé par un cylindre de zinc entourant le charbon et qui en est séparé par des anneaux de caoutchouc; le tout est contenu dans un vase en verre. Le dépolarisant est le permanganate de potasse, dont la richesse en oxygène est connue; il est introduit sous forme de cristaux dans la partie vide du cylindre de charbon, et le liquide excitateur est une solution de 1 partie de potasse caustique dans 5 parties d'eau, que l'on verse à la fois dans le cylindre de charbon et dans le vase en verre.

L'élément Daniell de 0^m.29 de hauteur environ a pour constantes :

Force électromotrice au début	1,80 volt.
Intensité en court circuit	15 à 20 ampères.
Résistance intérieure, environ	0,12 ohm.

Après treize à quarante minutes de court circuit, la force électromotrice tombe à 1 volt, et l'intensité à 8 ou 9 ampères, intensité que le couple conserve alors pendant un temps assez long. Un repos de quelques heures suffit pour que la force électromotrice reprenne sa valeur primitive. Dans le cas de faibles courants à fournir, la dépoliarisation est complète et l'intensité constante. D'après son inventeur, cette pile ne travaille pas à circuit ouvert.

3^e groupe. — PILES A DEUX LIQUIDES.

Pile Daniell. — La pile qui porte le nom du chimiste anglais Daniell, mais qui a été en réalité



Fig. 25. — Pile Daniell (ancien modèle).

inventée par Becquerel père, est la plus ancienne pile construite d'après les principes admis actuellement. Elle date de 1836. Elle se composait primitivement d'un vase de cuivre rouge contenant une dissolution de sulfate de cuivre; au centre, dans un vase poreux se trouvait une lame de zinc et de l'eau acidulée sulfurique.

On a modifié ensuite cette disposition ainsi que le représente la fig. 25. Chaque couple se compose : d'un vase en verre ou en porcelaine rempli d'une dissolution saturée de sulfate de cuivre; d'un cylindre de cuivre rouge ouvert aux deux bouts et percé, en outre, d'un grand nombre de trous, plongeant dans la dissolution saline; d'un vase cylindrique en terre de pipe assez poreuse, rempli d'acide sulfurique étendu d'eau, et plongeant dans le vase de verre à l'intérieur du cylindre de cuivre; enfin d'un cylindre de zinc amalgamé plongeant dans l'eau acidulée. La plaque

de cuivre et le cylindre de zinc sont munis de pinces en cuivre dans lesquelles on peut fixer les fils qui doivent conduire le courant.

Aussitôt que les électrodes communiquent entre elles, le zinc est attaqué par l'acide sulfurique; mais tandis que la dissolution contenue dans le vase poreux s'appauvrit, comme dans la pile de Volta, par la production du sulfate neutre de zinc, elle se revivifie aux dépens de la dissolution de sulfate de cuivre, parce que l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau qui a dû fournir son oxygène au zinc, attiré vers

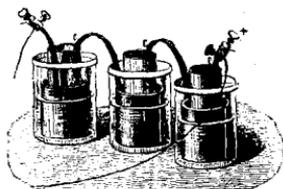


Fig. 26. — Pile Daniell, modèle des Chemins de fer et des Télégraphes.

le pôle négatif, traverse le vase poreux, décompose le sulfate de cuivre pour s'unir à l'oxygène de l'oxyde et reformer de l'eau, et met en liberté une quantité d'acide sulfurique justement égale à celle qui s'est



Fig. 27. — Pile Daniell dite à « ballon ».

unifié à l'oxyde de zinc. Cet acide sulfurique traverse le vase poreux pour se rendre au pôle négatif zinc, et le cuivre mis en liberté se dépose sur le cylindre de cuivre.

La dissolution de sulfate de cuivre s'appauvrirait elle-même rapidement par l'effet de la réaction qu'on vient d'indiquer; mais on a soin d'y plonger un excès suffisant de cristaux de sulfate de cuivre, renfermés habituellement dans une petite couronne cylindrique que porte à sa partie supérieure le cylindre de cuivre.

On obtient avec la pile Daniell un courant presque invariable pendant plusieurs heures.

Dans le dernier modèle adopté (fig. 26) la lame de cuivre et la dissolution de sulfate sont placées dans l'intérieur du vase poreux, et l'eau acidulée et le man-

chon de zinc sont à l'extérieur de celui-ci, dans un vase de verre ou de grès. Pour entretenir constamment la saturation dans le vase poreux, on a fixé à la lame de cuivre, près de la surface du liquide, une galerie de même métal percée de trous, sur laquelle on ajoute de temps en temps des cristaux de sulfate de cuivre; dans d'autres modèles, le vase poreux est surmonté d'un ballon de verre rempli de cristaux de sulfate de cuivre et dont le col plonge dans le liquide (fig. 27); la solution de sulfate de cuivre étant plus dense que l'eau, au fur et à mesure de l'appauvrissement de la solution contenue dans le vase poreux celle-ci devient plus légère et monte dans le ballon, pendant que la solution saturée descend dans le vase poreux. La pile Daniell est très constante, mais d'un entretien assujettissant. En outre, l'incrustation des vases poreux par le cuivre réduit les met promptement hors de service.

Pile Carré. — Cette pile, imaginée par M. Carré pour faire de la lumière électrique, n'est qu'une modification de la pile Daniell: cylindre de zinc de grande dimension plongeant dans de l'eau acidulée sulfurique, à l'intérieur duquel se trouve un vase poreux en papier recouvert d'albumine coagulée par la chaleur; le pôle positif est formé par une cage faite de deux disques parallèles en bois réunis par des baguettes de même matière et recouverte d'un gros fil de cuivre enroulé en spirale sur toute la hauteur de cette cage, de manière que les spires consécutives soient très rapprochées, mais ne se touchent pas; l'intérieur est rempli jusqu'en haut de cristaux de sulfate de cuivre. Cette pile est très peu résistante intérieurement et a permis à M. Carré de faire fonctionner des lampes à arc de son système pendant 200 heures consécutives.

Pile Callaud. — C'est une modification de la pile Daniell, dans laquelle on a profité de la différence

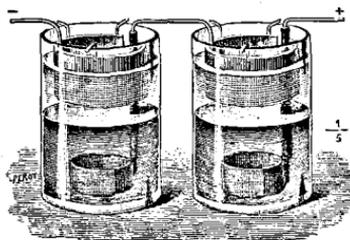


Fig. 28. — Pile Callaud, modèle de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans.

de densité de la solution de sulfate de cuivre avec l'eau acidulée sulfurique ou avec la solution non saturée de sulfate de zinc pour supprimer le vase poreux. La pile Callaud se compose d'un vase de verre à la partie supérieure duquel un manchon de zinc est suspendu au moyen de trois crochets de cuivre ou de chevilles en bois reposant sur les bords de ce vase (fig. 28); dans le fond se trouve une plaque ou un cylindre de cuivre rouge communiquant avec l'extérieur au moyen d'un fil de même métal qui y est soudé ou rivé; la partie de ce fil qui traverse les liquides est recouverte d'un enduit isolant, comme la gaine-percha, qui le protège. On verse dans l'élément ainsi constitué de l'eau contenant en dissolution un peu de sulfate de zinc; puis, au moyen d'un siphon en verre ou en caoutchouc, on

introduit au fond une solution saturée de sulfate de cuivre; il faut que cette solution n'arrive pas jusqu'au niveau inférieur du manchon de zinc.

On trouvera au mot siphon la description et le dessin d'un appareil de ce genre, imaginé par M. Radiguet, et qui est très commode. L'entretien de la pile Callaud consiste à remettre du sulfate de cuivre dans la partie inférieure du vase de verre à mesure de l'épuisement et à enlever de temps en temps une partie du liquide supérieur pour le remplacer par de l'eau pure, puis à gratter et à nettoyer le zinc des dépôts de cuivre qui s'y accumulent. Cette pile est très constante.

Pile Meidinger. — Disposition analogue à la précédente; mais, en vue de diminuer l'entretien, on a

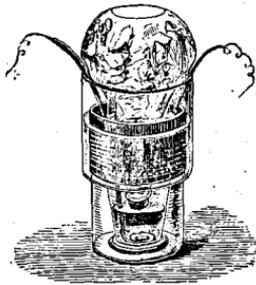


Fig. 29. — Pile Meidinger.

ajouté un ballon ou un entonnoir en verre rempli de cristaux de sulfate de cuivre (fig. 29).

Pile Thomson. — La pile Thomson est une modification de la pile Callaud; elle est constituée de façon à avoir une grande surface et une résistance intérieure très faible, ce qui lui donne un grand débit. Elle a été très employée pour actionner les gros électroaimants du télégraphe appelé siphon ascenseur et le moussé MIL du même appareil.

Elle se compose d'une grande cuvette rectangulaire en bois doublée de plomb; aux quatre angles sont disposés quatre cubes en porcelaine ou en terre cuite; après avoir recouvert le fond de la cuvette de cristaux de sulfate de cuivre concassés de la grosseur d'une noisette, on place une feuille de papier parchemin et un zinc en forme de grille sur les quatre cubes, puis on remplit la cuvette avec de l'eau jusqu'à ce que le zinc baigne. On place jusqu'à dix couples, ainsi construits, les uns sur les autres. Le plomb de chaque cuvette est terminé par une lame de même métal qui se reploie en dessous et est pressé sur le zinc de l'élément précédent par son poids même.

Pile Caharet. — Autre genre de pile Callaud; le pôle positif de la pile est constitué par un tube de plomb fendu à sa partie inférieure de manière à former cinq ou six pattes servant à le maintenir vertical dans le milieu du vase de verre (fig. 30). Cette disposition a le même but que l'entonnoir ou le ballon de Meidinger, mais elle est moins compliquée. Du reste, Krüger avait déjà imaginé le même dispositif, seulement le tube, étant en cuivre, se couvrait, au bout de quelque temps, au niveau de séparation des deux

liquides, ce qui n'arrive pas pour le plomb. Cette pile, employée par le service télégraphique de la Com-

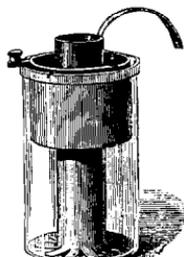


Fig. 30. — Pile Cabaret.

pagne des chemins de fer de l'Est, en remplacement des piles Daniell, donne de bons résultats.

Pile Minotto. — Elle se compose d'une plaque de cuivre recouverte d'une forte couche de cristaux pulvérisés du sulfate de cuivre, puis d'une couche de sable assez fin, et enfin d'une plaque de zinc relativement épaisse; on verse sur le tout assez d'eau pour imbibier le sulfate et le sable et mouiller la surface inférieure du zinc. L'entretien consiste à nettoyer de temps en temps cette surface et à rajouter un peu d'eau pour humecter convenablement le sable. Pile très constante, mais d'une grande résistance intérieure.

Pile Reynier. — Analogue à la pile Daniell; la substance dépolarisante est toujours le sulfate de cuivre, mais le vase poreux en porcelaine est remplacé par du papier parchemin et le liquide qui baigne le zinc est ici une solution de soude caustique additionnée de différents sels qui, d'après l'inventeur, diminuent beaucoup la résistance intérieure. C'est une pile énergique, très constante, mais dont l'entretien est assez difficile.

Pile Marié-Davy. — Disposition analogue à celle de la pile Daniell, seulement le sulfate de cuivre est remplacé par du sulfate de protoxyde de mercure, et la tige de cuivre par une lame de charbon de corne; sa force électromotrice est plus grande que celle de la pile Daniell, mais la dépolarisation se fait moins bien par suite du peu de solubilité du sulfate de mercure; d'un autre côté, la pile demande moins d'entretien.

Pile Becquerel. — Pile analogue à la précédente, mais montée au sulfate de plomb; elle se polarise encore davantage; en effet, le sulfate de plomb est encore moins soluble que le sulfate de mercure et oppose une plus grande résistance au courant par suite de son peu de conductibilité.

Pile Grove. — Le couple de la pile de Grove se compose d'un vase de verre rempli d'acide sulfurique

étendu d'eau, dans lequel plonge un cylindre de zinc amalgamé, ouvert à ses deux extrémités et fendu, en outre, dans toute sa longueur, et d'un vase poreux en terre de pipe rempli d'acide azotique ordinaire

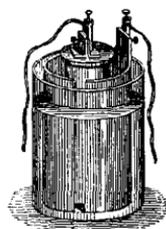


Fig. 31. — Pile de Grove.

dans lequel plonge une feuille de platine recourbée en forme d'S (fig. 31). L'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau passe dans le vase poreux, où il s'oxyde aux dépens de l'acide nitrique, qui passe à l'état d'acide hypoazotique. La pile de Grove est beaucoup plus puissante que celle de Daniell, mais elle est moins constante parce que l'acide azotique détruit n'est pas renouvelé.

Pile Bunsen. — La pile de Bunsen, ou pile à charbon, ne diffère de la pile de Grove qu'en ce que la feuille de platine y est remplacée par un cylindre de charbon obtenu par la calcination, dans un moule en fer, d'un mélange de poudres fines de coke et de

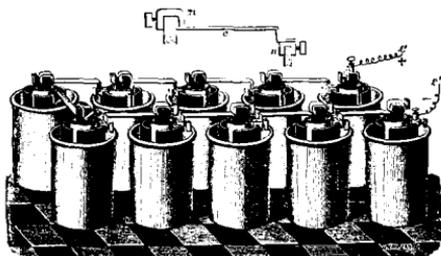


Fig. 32. — Pile Bunsen.

houille grasse. On emploie maintenant des prismes en charbon de corne.

La fig. 32 représente une batterie de couples Bunsen assemblés en série, et le conducteur *mes* terminé par deux presses à vis servant à réunir les électrodes.

Dans les piles au sulfate de cuivre, de mercure ou de plomb, et dans celles où l'on emploie l'acide azotique comme dépolarisant, les courants secondaires intérieurs sont de même sens que le courant principal et tendent à en renforcer l'énergie. Nous ajouterons que, pour éviter les vapeurs si dangereuses d'acide hypoazotique qui se dégagent pendant le fon-

tionnement soit de la pile de Grove, soit de la pile de Bunsen, qui est analogue, on a imaginé de remplacer l'acide azotique par différents liquides à base de bichromate de potasse.

Pile Fuller. — Elle se compose d'un vase poreux au centre duquel on place une lame de zinc et qu'on remplit d'eau acidulée sulfurique à 8 ou 10 %; on ajoute une faible quantité de mercure, de manière que le zinc reste toujours bien amalgamé; autour du vase poreux, une série de lames de charbon de corne plongent dans une solution saturée de bichromate de potasse additionnée de 150 grammes d'acide sulfurique par litre d'eau. Cette pile est peu résistante, d'une force électromotrice élevée; l'entretien en est facile, mais assez cher, comme celui de toutes les piles au bichromate.

Pile Cloris Baudet. — M. Cloris Baudet a adopté pour sa pile au bichromate de potasse la disposition

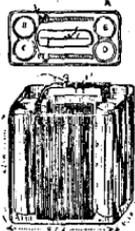


Fig. 33. — Plan et vue perspective de la Pile Cloris Baudet.

suivante (fig. 33) : dans le vase extérieur, qui a 0^m,22 de hauteur et autant de largeur, plongent : un vase poreux plat F contenant une lame de zinc Z et le

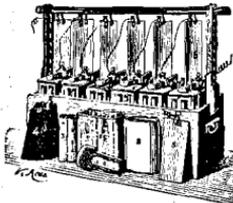


Fig. 34. — Pile à treuil. (Système Cloris Baudet.)

liquide excitateur (eau acidulée sulfurique); deux lames de charbon III reliées ensemble et placées de chaque côté du vase poreux; enfin quatre vases formant deux groupes composés chacun de deux vases BC et ED, chaque groupe occupant l'une des extrémités du vase extérieur. Les vases B et D, percés de trous, constituent des réservoirs à cristaux de bichromate, et les vases C et E, en terre poreuse, sont des réservoirs à acide. On verse le liquide dépolarisant (dissolution acidulée de bichromate de potasse) dans le vase extérieur; les cristaux de bichromate de potasse et l'acide sulfurique contenus dans les réservoirs B, C, E, D servent à maintenir ce liquide dépolarisant dans un état de concentration convenable.

En réunissant un certain nombre de couples ainsi constitués dans une caisse au-dessus de laquelle on a suspendu les zincs à une tringle horizontale (fig. 34), on a une batterie donnant un courant dont il est facile de régler l'intensité en faisant plonger plus ou moins les zincs dans le liquide excitateur.

La force électromotrice d'un couple de la pile Cloris Baudet (modèle représenté fig. 33) est de 2 volts; elle fournit un courant d'une intensité de 10 ampères et la résistance intérieure, qui est de 0,22 ohm au début, atteint 0,30 ohm au bout de quelque temps de service. La disposition de M. Baudet est intéressante; mais il y a grand avantage à substituer au bichromate de potasse le bichromate de soude, qui est beaucoup plus soluble et moins cher.

Pile Desruelles. — La pile Desruelles, qui a été employée aux expériences d'éclairage par lampes à incandescence des voitures-restaurants des trains

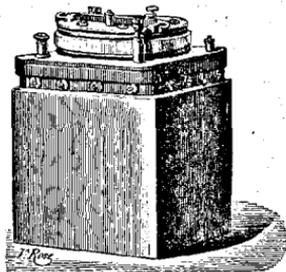


Fig. 35. — Pile Desruelles (vue extérieure).

de Paris à Bruxelles et de Paris à Lille, en mars 1886, se compose d'un vase cubique en ébonite de 0^m,20

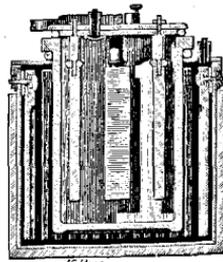


Fig. 36. — Pile Desruelles (coupe longitudinale).

à 0^m,25 de côté, dont les parois intérieures sont garnies de lames de charbon de corne rainées; au milieu de ce premier vase s'en trouve un autre qui est poreux et dans lequel plongent quatre lames de zinc amalgamé et frottées d'un mélange de graisse minérale (géoline) et de mercure. (V. les fig. 33 et 36.)

Le liquide qui remplit le vase poreux est ainsi composé : eau, 1.000 grammes; acide sulfurique à 66° à

l'huile (procédé d'Arsonval) 380 grammes; bisulfate de mercure 40 grammes. Le liquide dépolarisant, dans lequel plonge le vase poreux, est composé de : eau 1,000 grammes; bichromate de soude, 400 grammes; acide sulfurique à 66°, 100 grammes, et acide azotique à 36°, 200 grammes.

Les zincs ne sont pas attaqués lorsque la pile est à circuit ouvert. La force électromotrice d'un élément est de 2,19 volts et la résistance intérieure 0,07 ohm.

Pile Radiguet. — M. Radiguet construit des éléments de pile au bichromate de soude composés,

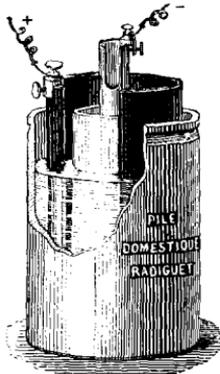


Fig. 37. — Pile Radiguet.

comme le montrent les fig. 37 et 38, d'un vase de grès, d'un cylindre de charbon, d'un vase poreux,



Fig. 38. — Pile Radiguet (vase poreux intérieur).

contenant le zinc, d'un support à amalgamer et de sa cuvette. Pour charger l'élément, on verse dans cette cuvette, attachée au support, 100 grammes d'amalgame de zinc; on met dans le vase poreux 300 à

400 grammes de zinc en rognures ou en boules et de l'eau pure; enfin, dans le vase de grès on verse la dissolution dépolarisante composée de 710 centimètres cubes d'eau, de 110 grammes de bichromate de soude et de 230 centimètres cubes d'acide sulfurique. Pour augmenter l'énergie de la pile au début, on acidule un peu l'eau du vase poreux en y versant quelques gouttes d'acide sulfurique. Cette pile peut servir pour la galvanoplastie ou pour faire de la lumière.

Pile Orazio Lugo, de New-York. — L'élément se compose d'un charbon, à l'intérieur d'un vase poreux contenant une solution composée de 2/3 d'acide azotique à 35° et de 1/3 d'azotate de cuivre dissous à 35°; dans un vase en verre ou en grès on introduit le vase poreux A et un cylindre de zinc amalgamé, puis on remplit avec une lessive de soude caustique à 50° Banné. Le Dr Lugo prétend avoir obtenu avec ce montage une force électromotrice de 2,5 volts au début et qui était encore de 2,4 volts après deux cent soixante-quatre heures de court circuit. C'est dans le but d'empêcher la diffusion d'un liquide dans l'autre, et par suite leur neutralisation sans profit pour l'action électrique, que M. Lugo mélange à l'acide un sel métallique. M. Thomson a fait breveter en 1887 une disposition analogue.

PILES DESTINÉES A DES USAGES SPÉCIAUX

1° — Piles à circulation.

Dans toutes les piles hydro-électriques, à un ou à deux liquides, que nous avons décrites, il arrive qu'au bout d'un certain temps de fonctionnement ces liquides se modifient. Il y a formation de cristaux de nature différente suivant les liquides employés, et par suite augmentation de résistance intérieure de la pile et diminution du débit.

C'est pour parer à ces inconvénients que plusieurs inventeurs ont imaginé les piles dites à circulation ou à écoulement, dans lesquelles les liquides se renouvellent constamment. Nous donnons ci-dessous la description des principales piles à circulation.

Pile Chuteaux. — La pile Chuteaux, qui est déjà ancienne et qui a servi pendant la guerre de 1870-71 pour l'éclairage électrique, se compose en principe d'un vase de grès percé à sa partie inférieure, divisé en deux demi-cylindres par une paroi mobile verticale qui permet de remplir ce vase, d'un côté, de grenaille de charbon de corne dans laquelle est introduite une lame de charbon de corne formant le pôle positif, de l'autre côté, de sable siliceux dans lequel on introduit une plaque de zinc amalgamé. La paroi mobile est ensuite enlevée. Au-dessus du vase ainsi garni se place un autre vase en porcelaine dégraissée, par conséquent très poreux, servant de support à un flacon renversé contenant une dissolution de bichromate de potasse additionnée d'acide sulfurique et de bisulfate de mercure. Ce liquide coule peu à peu dans le vase inférieur (l'écoulement est d'ailleurs réglé par la porosité du vase en porcelaine), et tombe dans un élément semblable au précédent, dépourvu, bien entendu, de vase poreux et de flacon; au sortir de ce deuxième élément le liquide s'accumule dans un récipient quelconque. Lorsque ce dernier est plein, on reverse le liquide qui a déjà circulé une fois dans le flacon supérieur de façon à le faire ressorvir. On peut employer ainsi le même liquide pour trois écoulements successifs, après quoi il est épuisé. Cette pile est assez constante, mais elle présente une résistance intérieure relativement grande ce qui l'a empêché de se vulgariser.

Pile Camacho. — C'est encore une pile au bichromate de potasse. Les vases sont rectangulaires. Dans le vase poreux est une lame de charbon autour de laquelle on a tassé des fragments de charbon de corne. Les éléments sont disposés en étage (fig. 39), et un tube de caoutchouc part du fond de chaque vase

poreux pour arriver en haut du vase poreux immédiatement inférieur; ces tubes forment siphons et la dissolution de bichromate, qui coule d'une manière continue d'un réservoir dans le premier vase poreux, circule dans tous les vases suivants et est recueillie au bas de la pile. On reporte de temps en temps dans le résé-

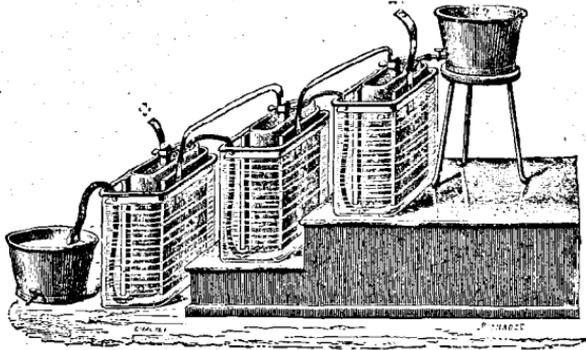


Fig. 39. — Pile à circulation de Camacho. (Breguet.)

voir supérieur la dissolution recueillie dans le vase inférieur.

Pile Carpentier. — La pile de M. Carpentier, qui a figuré en 1884 à l'Exposition d'électricité de l'Observatoire, à Paris, est, comme les précédentes, au bichromate de potasse. Elle se compose d'un tube de charbon aggloméré et percé d'une couronne de trous à sa partie supérieure; dans l'intérieur de ce tube et suivant son axe se trouve une baguette de zinc amalgamé. Le tout est immergé dans un vase de verre contenant la solution de bichromate de potasse additionnée d'acide sulfurique et de bisulfate de mercure. Le niveau de cette solution monte au-dessus des trous du tube de charbon. A mesure que la pile fonctionne, le liquide qui est au contact du zinc se modifie, devient plus dense, descend le long du tube et s'accumule au fond du vase de verre, tandis que le liquide placé extérieurement à ce tube y pénètre par les trous et vient au contact du zinc, pour redescendre ensuite dans le tube et faire place de nouveau à du liquide frais. On obtient ainsi, dans le même couple, une circulation continue tout à fait analogue à celle de l'eau chaude dans un thermosiphon.

Cette pile est très constante; son seul inconvénient est son prix assez élevé.

Pile siphonoïde Cloris Baudet. — M. Cloris Baudet a imaginé un modèle de pile au bichromate de potasse destinée à l'éclairage électrique domestique. A actionner des moteurs électriques, à la galvanoplastie et en général à toutes les applications industrielles nécessitant un courant électrique constant et de durée.

Chaque couple se compose d'un vase extérieur rectangulaire en verre V (fig. 40), au milieu duquel se trouve un vase poreux v. De chaque côté de ce dernier sont placées deux plaques de charbon reliées ensemble au moyen d'une presse qui porte un boulon avec écrou. Il est bon de placer entre chaque charbon et la presse une lame de plomb mince, pour éviter l'oxydation de la presse dans le cas où le liquide viendrait

à mouiller les charbons, ce qui produirait un mauvais contact. Dans chaque vase poreux est placée une lame de zinc amalgamé Z, sur la partie supérieure de laquelle s'adapte une presse en cuivre portant une borne dans laquelle est engagée et serrée l'extrémité du fil qui établit la communication de cette lame de zinc avec les plaques de charbon de l'élément voisin. Les vases poreux sont remplis du liquide excitateur (eau acidulée) et les vases extérieurs du liquide dépolarisant (dissolution de bichromate de potasse). Les éléments sont placés côte à côte dans un bâti en bois B et reposant sur un socle K dans lequel se trouvent des récipients R' et R recevant les liquides épuisés. Sur le bâti sont placés les réservoirs R et R' contenant les liquides pour alimenter les éléments.

Ceci posé, voici comment on règle la circulation des liquides: le tuyau d'arrivée de liquide, venant du réservoir R contenant le liquide dépolarisant, plonge dans le vase extérieur du premier élément de gauche, et le tuyau d'arrivée, venant du réservoir R' contenant le liquide excitateur, plonge dans le vase poreux du même élément. Un robinet, placé au bas de chaque vase, permet d'arrêter à volonté l'introduction du liquide. Les éléments communiquent entre eux au moyen de siphons en forme de S disposés à cheval sur deux éléments, les branches plongeant dans les vases extérieurs, la plus longue branche du siphon tournée du côté de l'arrivée du liquide. Une disposition semblable permet de faire communiquer les vases poreux. Les siphons du dernier élément à droite plongent, d'un bout, le premier dans le vase extérieur, le second dans le vase poreux de cet élément, et de l'autre bout, dans les tubes de déversement fixés en dehors du bâti. Ces tubes doivent d'abord être remplis d'eau jusqu'à la hauteur du robinet pour pouvoir amener les siphons et les robinets servant à régler l'écoulement des liquides. L'amorçage des siphons se fait en pressant avec la main la poire en caoutchouc qui se trouve sur chaque siphon de manière à chas-

ser l'air et à aspirer le liquide dans le siphon. Quand on veut faire fonctionner la pile, on descend, au moyen de la manivelle du treuil, la traverse à laquelle sont suspendus les zincs qui plongent alors dans les vases poreux. On ouvre ensuite en grand les robinets des réservoirs R et r, ainsi que ceux des tubes de déversement. Les liquides circulent et l'écoulement doit être pour chacun d'eux de 3 litres à l'heure, par exemple dans le cas où la pile (supposée être de 12 élé-

ments) alimente 4 lampes de 12 volts ou 8 lampes de 6 volts. Les liquides qui sortent de la pile et se rendent dans les récipients R' et r' ne peuvent plus servir à la pile, mais le liquide dépolarisant renferme une quantité notable d'oxyde vert de chrome qui a une certaine valeur. Pour arrêter le fonctionnement de la pile, on relève la traverse qui porte les zincs et on ferme les robinets des tubes de déversement et ceux des réservoirs R et r.

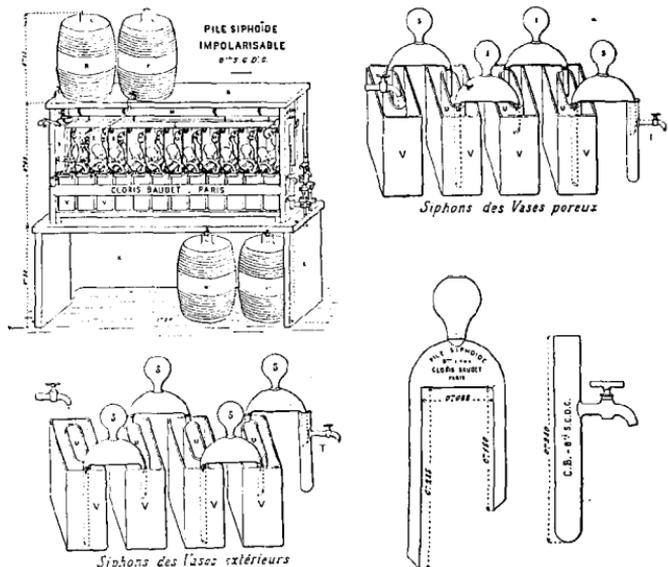


Fig. 40. — 1° pile siphonide Cloris Baulet.

Voici la composition du liquide dépolarisant :

Eau ordinaire	1.000 grammes.
Bichromate de potasse en poudre..	100 —
Acide sulfurique du commerce à 66°.	180 —

Quant au liquide excitateur, il contient 50 grammes d'acide sulfurique du commerce à 66° pour 1.000 grammes d'eau.

Les constantes de cette pile sont, par élément : force électromotrice, 2 volts ; intensité à court circuit au début, 30 ampères.

Pile d'Arsonval. — Cette pile, dont la disposition est analogue à celle de la pile Camacho, fonctionne, comme cette dernière, avec deux liquides. Celui qui circule dans les vases poreux se compose de 4 parties d'acide azotique, de 4 parties d'acide chlorhydrique et de 2 parties d'eau. Les vases extérieurs sont remplis d'eau comme dans la pile Camacho.

Pile Erard et Vogler. — Cette pile a été présentée à la Société internationale des Electriciens, en

février 1880, par M. Napoli qui en a donné la description suivante :

« Cette pile est du genre Daniell et à circulation, comme la pile à ballon ; l'assemblage des éléments s'approche beaucoup de celui de la pile de Volta, formant ainsi des compartiments composés d'un cadre non conducteur, en papier mâché, dont les bases sont constituées par les plaques polaires, en zinc pour le pôle négatif et en plomb pour le pôle positif ; les pôles de noms contraires de deux éléments voisins sont en contact. Ainsi disposée, on peut se faire une idée de la rapidité de son montage. Chaque élément est formé d'une lame de zinc sur laquelle on place un parchemin, puis un cadre en carton, et sur ce dernier une feuille de plomb, puis encore une lame de zinc, un parchemin, un cadre en carton, et ainsi de suite, suivant le nombre d'éléments qu'on désire, et qu'on assujettit entre deux planches au moyen de boulons et d'écrous. La pile, montée comme il vient d'être dit, est remplie avec de l'eau pure et mise en communication avec un réservoir clos contenant une solution saturée de sulfate de cuivre avec un excès de

cristaux. La substitution du sulfate de cuivre à l'eau de la pile se fait au moyen de deux tubes de caoutchouc aboutissant à deux petits réservoirs longitudinaux en forme de gouttières, garnis d'autant d'ajutages qu'il y a d'éléments. Ces ajutages sont formés de tuyaux de plumes d'oie plongeant à la partie supérieure de chacun des éléments. On se rend facilement compte de ce qui se passe : le sulfate de cuivre, en raison de sa densité, descend dans le fond de la pile et est remplacé par l'eau qui monte dans le réservoir, où elle se sature de sulfate de cuivre; il se forme donc un double courant fonctionnant incessamment. »

Pile O'Keenan. — Cette pile met à profit les différences de densité des solutions qui interviennent dans le fonctionnement de la pile Daniell et constitue une pile à gravité et à cloisonnement : le sulfate de zinc, qui est le plus dense, occupant la partie inférieure de l'élément, le sulfate de cuivre le milieu et l'eau pure la partie supérieure. La pile se compose de deux lames de plomb collées sur deux lames de bois et d'une lame de zinc entourée d'une gaine de papier parchemin ouverte en haut et en bas (fig. 41).

Lorsque le couple est en activité, le sulfate de cuivre

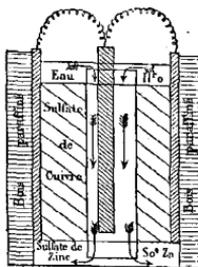


Fig. 41.—Pile O'Keenan (coupe suivant l'axe d'un couple).
placé au milieu du liquide est décomposé : du cuivre

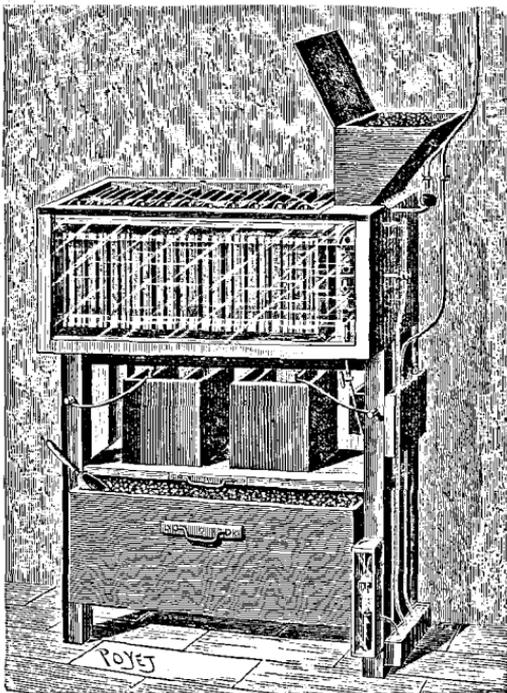


Fig. 42. — Pile O'Keenan.

métallique se dépose sur le plomb et l'oxygène, et se portent sur le zinc et forment du sulfate de zinc. Co l'acide sulfurique, traversant le papier parchemin, | dernier augmentant la densité du liquide dans la gaine

descendre dans le sens des flèches. Il y a ainsi appel d'eau pure de la partie supérieure vers la partie inférieure, tandis qu'une portion du sulfate de zinc, plus dense, qui occupe la partie basse de la gaine, est refoulée à l'extérieur et se siphonne dans le fond de l'élément. Pour que la batterie fonctionne sans interruption, étant admis que la provision de zinc est suffisante, il faut entretenir la saturation du sulfate de cuivre, rejeter le sulfate de zinc, renouveler l'eau pure à la partie supérieure de la pile. On se sert pour cela d'un siphon dont la petite branche plonge dans le fond du vase (ce siphon élimine le sulfate de zinc), et d'un vase à découlement à tube relativement assez gros et dont l'extrémité arrive dans la pile au niveau de séparation de l'eau pure et du sulfate de cuivre, (ce vase rempli de cristaux de sulfate de cuivre et d'eau entretient la saturation de la dissolution de sulfate. Quant à l'eau pure, elle est envoyée à la partie supérieure de la pile à l'aide d'un dispositif spécial, automatique et assez compliqué.

Tant que l'élément fonctionne, il y a circulation automatique d'eau et de sulfate de zinc dissous; si l'on coupe le circuit, tous les liquides s'arrêtent d'eux-mêmes et toute usure cesse.

La fig. 42 donne la vue d'une pile installée pour fournir l'électricité nécessaire à un éclairage domestique. A la partie supérieure on aperçoit les couples de la pile; à la partie inférieure se trouve un tiroir contenant une provision de sulfate de cuivre; il suffit d'en mettre tous les matins une pelletée dans la trémie qui est à droite et à la partie supérieure de la pile. Sous la pile proprement dite sont placés des ACCUMULATEURS, indispensables pour faire de l'éclairage électrique. Le prix du cheval-heure électrique ne dépasserait pas 2 fr. 50, suivant l'inventeur.

Pile au chlorure de M. R. Upward. — Cette pile met à profit l'action directe du chlorure sur le zinc.

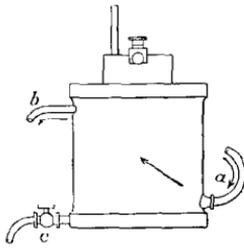


Fig. 43. — Pile Upward (vue extérieure).

C'est à la fois une pile hydro-électrique et une pile à gaz. Le chlorure est produit par l'action réciproque du sel marin, du peroxyde de manganèse et de l'eau acidulée sulfurique dans un réservoir en grès placé dans un bain de sable légèrement chauffé par une lampe à gaz ou à pétrole. Le chlorure qui se dégage va s'emmagasiner dans un gazomètre après avoir traversé la pile. Chaque couple se compose d'un vase rectangulaire en grès renfermant un vase poreux plat contenant une solution de chlorure de zinc dans laquelle plonge une lame de zinc (fig. 43 et 44). Entre le vase poreux et le vase extérieur sont placées deux plaques de charbon entourées de fragments de charbon de corne. Une couche de ciment ferme hermétiquement la partie supérieure de la pile et ne laisse ouvert que le

vase poreux. Chaque vase en grès porte trois tubulures. Par l'une arrive le chlorure, qui sort par la deuxième (fig. 43); par la troisième, qui est munie d'un robinet, on laisse écouler la solution saturée de chlorure de zinc, qui s'écoule à travers le vase poreux et s'accumule dans le fond du vase en grès.

La pile ainsi constituée est très constante. Chaque couple a une résistance intérieure de 0,2 ohm et une force électromotrice variant de 2,4 à 2 volts, et peut débiter 4 WATTS. Avec une pile de 20 couples

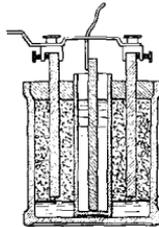


Fig. 44. — Pile Upward (coupe suivant l'axe d'un couple).

assemblés en série on charge assez d'accumulateurs pour alimenter des lampes à incandescence de 210 volts. En employant un COMMUTATEUR automatique actionné par un mouvement d'horlogerie on met successivement chaque accumulateur en relation avec la pile.

Pile réversible au chlorure. — Une pile ordinaire au chlorure n'est pas réversible; car, lorsqu'on veut la faire traverser par un courant de charge, le chlorure formé est décomposé et le chlorure, se dégageant, ne reste pas dans l'élément.

MM. Fisher et Nodon ont pensé que l'on pouvait remédier à cet inconvénient en retenant le chlorure au fur et à mesure de la décomposition du chlorure; ils y sont arrivés en mettant dans le liquide du cuivre, du brome, de l'iode ou du soufre.

2°. — Piles étalons.

On appelle **piles étalons**, des piles donnant une force électromotrice bien déterminée et qui servent dans les mesures de point de comparaison.

Les plus employées sont: la pile étalon du Post-Office, la pile étalon Latimer-Clarke, la pile étalon Debrun, la pile étalon Reynier, la pile étalon Ayrton et Perry.

La **Pile étalon du Post-Office** est un couple Daniell, composé comme suit: cuivre et sulfate de cuivre pur en dissolution saturée, zinc amalgamé et sulfate de zinc pur en dissolution à demi-saturée. La force électromotrice de cet élément est de 1,07 volt.

La **Pile étalon Latimer-Clarke** se compose de mercure et sulfate de protoxyde de mercure pur bouilli dans une solution saturée de sulfate de zinc et d'un lingot de zinc plongé dans la pile ainsi obtenue. La force électromotrice de cet élément est de 1,4 volt.

Voici comment on procède pour construire un couple Latimer-Clarke. On fait dissoudre du sulfate de zinc pur dans de l'eau distillée bouillante, jusqu'à saturation; on décante après refroidissement le liquide qui surverse et on le mélange avec du sulfate de protoxyde de mercure de manière à former une pâte épaisse, que l'on porte à l'ébullition pour chasser

l'air. Cette pâte est versée sur du mercure qu'on a d'abord chauffé et mis dans un vase cylindrique en verre. On suspend dans la pâte un morceau de zinc pur. Le contact avec le mercure est obtenu soit par un fil de platine qui descend dans un tube de verre soudé à l'intérieur du vase, soit, ce qui vaut mieux, par un fil traversant la paroi verticale près du fond et soudé à celle-ci. On termine le couple en le fermant au moyen d'une couche épaisse de paraffine. Le sulfate de protoxyde de mercure se prépare en attaquant le mercure en excès par l'acide sulfurique à une température inférieure à celle de l'ébullition de cet acide. Le sel, qui se présente sous forme d'une poudre blanche presque insoluble, est lavé à l'eau distillée afin d'enlever l'acide ou le sulfate de bioxyde, dont la présence aurait pour effet de modifier la force électromotrice du couple.

La Pile étalon Debrun se compose d'une part d'un amalgame de zinc plongé dans une dissolution saturée de sulfate de zinc, d'autre part d'un amalgame de cadmium plongé dans une solution saturée de sulfate de cadmium; les deux solutions sont réunies entre elles par un siphon capillaire, et deux rhéophores de platine plongeant dans les amalgames servent à recueillir l'électricité. La force électromotrice de cet élément est de 0,28 volt.

La Pile étalon Reynier se compose d'une électrode en cuivre à grande surface plongée dans une dissolution saturée de chlorure de sodium; au centre est une petite tige de zinc amalgamé. La force électromotrice est de 0,82 volt.

La Pile étalon Ayrton et Perry est formée d'une plaque de cuivre pur et d'une plaque de zinc pur plongeant toutes deux dans une solution saturée de sulfate de zinc pur. D'après MM. Ayrton et Perry, la force électromotrice est exactement de 1 volt.

3. — Piles à gaz.

On désigne sous ce nom des piles dans lesquelles l'électricité est produite par la combinaison de deux gaz placés dans des conditions favorables pour que cette combinaison s'opère.

Nous citerons deux piles de ce genre, celle de Grove et celle de Kendall.

Pile à gaz de Grove. — Deux éprouvettes, pleines l'une d'oxygène et l'autre d'hydrogène, sont renversées sur un bain d'eau acidulée; des lames de platine recouvertes par voie galvanique d'un précipité fin de platine plongent à la fois dans chacun des gaz et dans la dissolution acide et forment le circuit galvanique. Aussitôt que ce circuit est fermé, la recombinaison de l'oxygène et de l'hydrogène se produit dans les proportions convenables pour former de l'eau.

Cette pile, qui ne saurait évidemment être employée comme générateur de courant, a servi ultérieurement à la vérification de cette loi de Faraday, que « l'effet chimique de composition ou de décomposition, mesuré par la quantité en poids ou en volume des corps qui y prennent part, est proportionnel à l'énergie du courant ». L'effet chimique s'y mesure, en effet, très aisément, et l'énergie du courant qui en résulte peut être appréciée très exactement par la déviation de l'aiguille d'un GALVANOMÈTRE interposé entre les fils qui communiquent avec les deux lames de platine. En interposant, au contraire, un VOLTMÈTRE entre les deux mêmes fils, on observe que les volumes de gaz qui s'y dégagent sont précisément égaux à ceux qui se consomment dans les éprouvettes de la pile.

Pile à gaz de Kendall. — Cette pile se compose de deux tubes de platine fermés à la partie inférieure

et placés l'un dans l'autre; l'espace concentrique intermédiaire est rempli de verre en fusion. Une conduite, qui passe à la partie inférieure et près du fond de l'appareil, envoie un courant continu d'hydrogène dans le tube de platine intérieur. Quand les deux tubes sont reliés par des fils métalliques, l'hydrogène qui passe dans le tube central et l'oxygène contenu dans l'air qui circule autour du tube extérieur sont absorbés par le platine sous l'action de la chaleur; la disposition est, au fond, celle d'une batterie à gaz. Ces éléments se groupent en aussi grand nombre et de la même manière que ceux d'une batterie voltaïque ordinaire. On peut se dispenser d'employer de l'hydrogène pur en envoyant dans le tube intérieur des gaz perdus qui contiennent une certaine quantité d'hydrogène. Dans ce cas, cet hydrogène sert à produire l'électricité, tandis qu'on emploie les autres gaz provenant de la combustion à entretenir la chaleur du fourneau. On peut en dire autant du gaz de charbon de terre. La force électromotrice d'un élément de ce genre a été évaluée à environ 0,7 volt. La pile à gaz de Kendall est intéressante, parce qu'elle constitue un générateur électrique transformant la chaleur en énergie électrique par l'action absorbante du platine porté à une haute température.

4. — Piles médicales.

On emploie pour actionner les divers appareils électro-médicaux des piles disposées de façon à remplir les conditions suivantes : mise en marche instantanée, sans manipulation de sels ou d'acides; mise au repos forcé pour une position déterminée; transport facile.

Les piles les plus usitées pour les applications médicales sont :

- Celles au bichromate de potasse ou de soude;
- Celles au bisulfate de mercure;
- Celles au chlorure d'argent;
- Celles au sulfate de cuivre;
- Celles au peroxyde de manganèse et au chlorhydrate d'ammoniaque.

PILES AU BICROMATE DE POTASSE OU DE SOUDE.

M. Chardin construit deux modèles de pile au bichromate de potasse à un seul liquide et à renver-



Fig. 45.

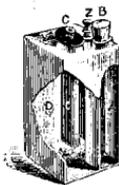


Fig. 46.

sivement, qui ne diffèrent des piles au bichromate de potasse déjà décrites que par la disposition prise en vue de rendre aussi commodes que possible le transport et l'emploi du couple par toute personne peu habituée aux manipulations chimiques.

La pile représentée fig. 45 se compose d'un vase en porcelaine émaillée, partagé en deux comparti-

ments A et B par une cloison horizontale percée de petits trous. Le liquide occupe le compartiment inférieur B, tandis que les éléments zinc et charbon émergent du compartiment A par deux pointes de platine. Une cloison verticale C forme un petit compartiment ayant deux orifices : l'un E, qui sert à l'introduction du liquide et qui est fermé par un bouchon de caoutchouc; l'autre D, qui permet l'échappement des gaz produits pendant l'action. En plaçant la pile sur le côté FG, le liquide sort du compartiment B, vient baigner le zinc et le charbon, et l'appareil fonctionne; dans ce mouvement la cloison C a empêché le liquide de venir dans le petit compartiment et d'avoir accès dans le trou capillaire D. Un certain nombre de trous de la cloison séparative restant libres, les gaz peuvent s'échapper facilement en descendant dans le compartiment inférieur pour remonter ensuite par le petit compartiment C. En remettant la pile dans sa situation normale, le liquide tombe dans son compartiment B et la pile est à l'arrêt.

La pile représentée *fig. 46* n'est pas à renversement; il faut déplacer le zinc lorsqu'on a fini de se servir du couple. Ce dernier se compose d'un vase divisé en deux compartiments étanches, dont l'un A reçoit le zinc au repos, et l'autre D contient le charbon C et le liquide excitateur. La figure montre la pile en fonction; le zinc est dans le liquide et le bouchon de caoutchouc B ferme le compartiment A. Quand on veut mettre la pile au repos, on place le cylindre de zinc dans ce compartiment et on ferme au moyen du bouchon B l'orifice d'introduction du liquide.

Dans ces deux modèles, le liquide peut servir pendant cinq heures environ.

Pile au bichromate de soude à circulation par pression d'air. — M. le Dr Boisseau du Rocher a

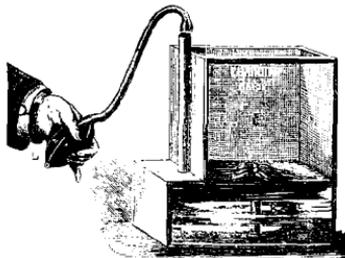


Fig. 47. — Figure indiquant la disposition de la pile du Dr Boisseau du Rocher.

imaginé une pile au bichromate de soude à circulation par pression d'air, qu'il emploie pour rendre incandescent le filament de la petite lampe qui termine son ÉLECTRO-MÉGALOSCOPE et qui rend également des services pour la GALVANOCAUSTIQUE. Cette pile, construite par M. Chardin, se compose (*fig. 47*) de deux vases superposés B et C communiquant par un tube qui plonge dans le vase inférieur B, contenant le liquide excitateur.

L'air injecté dans ce réservoir par une poire en caoutchouc L fixée sur un autre tube D fait monter à une plus ou moins grande hauteur, facile à régler, le liquide dans le vase supérieur, qui contient les zincs et les charbons (la *fig. 47* donne seulement la disposition des deux vases). Un robinet permet de donner issue à l'air emmagasiné dans le réservoir infé-

rieur et le liquide retombe alors par son propre poids.

On peut associer un plus ou moins grand nombre de couples, dont les tubes à air sont alors branchés sur une seule poire en caoutchouc P. La *fig. 48* donne la vue d'une pile complète composée de deux couples. L'ensemble des zincs et des charbons est

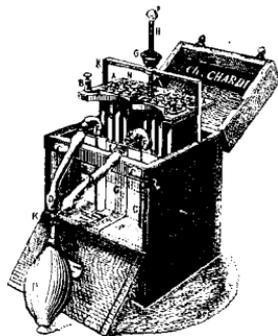


Fig. 48. — Pile Boisseau du Rocher complète composée de deux couples.

suspendu par une tige filée H manie d'un écrou G dont la rotation permet de les descendre ou de les remonter plus ou moins, de façon à graduer le courant.

Pile pour galvanocaustique de M. Trouvé. — Pile très énergique au bichromate de potasse. La cage est



Fig. 49. — Pile pour galvanocaustique de M. Trouvé (disposition des éléments).

formée par trois plaques de caoutchouc durci (ébonite), dont l'une sert de base et les deux autres de montants (*fig. 49*). Elles sont maintenues à la partie

supérieure par la poignée même. Les éléments (plaques de zinc et de charbon de corne), sont retenus à distance les uns des autres par des arrières de caoutchouc souple obtenues en sectionnant un tube de diamètre convenable. Cette disposition présente les avantages suivants :

1° De grouper les éléments comme on le désire suivant le potentiel ou l'intensité à obtenir ;

2° De permettre d'amalgamer facilement les zincs, ce qui rend la pile plus constante ;

3° Par suite de leur remplacement facile, on peut réduire l'épaisseur des zincs et par conséquent dimi-

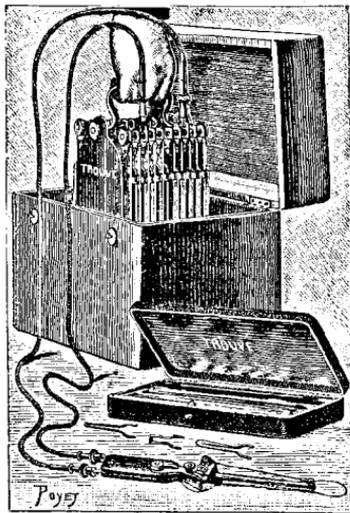


Fig. 50. — Pile pour galvanocaustique de M. Trouvé (vue d'ensemble).

nuer le poids de la pile et grouper sous le même volume un nombre double de couples.

La pile ainsi constituée est enfermée dans une boîte contenant le liquide (fig. 50).

Un tube insufflateur, en caoutchouc, permet d'activer la dépoliarisation pendant le fonctionnement de la pile. Le modèle généralement employé pèse 5 kilogrammes et a donné, en court circuit, dans des essais faits par M. d'Arsonval, 118 ampères et 4 volts. La partie immergée représente un cube de 0^m,15 de côté; il y a 10 charbons et 10 zincs.

PILES AU BISULFATE DE MERCURE.

Pile Trouvé. — M. Trouvé construit des piles hermétiques et à renversement au bisulfate de mercure; la description et la figure en ont été données plus haut. (V. page 624.)

Pile Gaiffe. — La pile au bisulfate de mercure de M. Gaiffe est une modification de la pile Marié-Davy à vase poreux (v. PILES A DEUX LIQUIDES, page 627). Elle se compose de très petits couples charbon et zinc, au nombre de deux ou trois, reliés par des

fils en platine et montés dans une petite cuvette d'ébonite. L'élément charbon est fixé au fond de la cuvette pendant son moulage, ainsi que les fils en platine, et le zinc vient simplement se poser sur la pile de sulfate de bioxyde de mercure et d'eau avec laquelle on charge chaque couple et qui repose sur le



Fig. 51. — Pile Gaiffe, au bisulfate de mercure.

charbon (fig. 54); cette pile peut fonctionner pendant environ 45 minutes.

Piles Chardin. — La fig. 52 donne la vue d'un couple au bisulfate de mercure construit par M. Chardin.

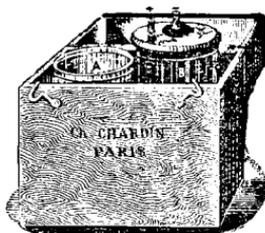


Fig. 52. — Pile au bisulfate de mercure de M. Chardin.

Ce couple est enfermé dans une boîte qui sert à le transporter. A est le facon de repos, B le facon contenant le liquide excitateur (dissolution dans l'eau

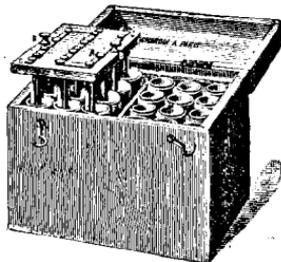


Fig. 53.

d'une certaine quantité de bisulfate de mercure), dans lequel on plonge le zinc et le charbon, fixés tous deux à un disque en ébonite formant couvercle du vase B. On aperçoit sur ce couvercle les deux bornes de prise de courant. Lorsqu'on a fini de se servir de cette pile, on remet le système, charbon et zinc, dans le facon de repos A. La boîte est disposée de façon qu'on ne puisse reformer son couvercle avant d'avoir préalablement mis la pile à l'arrêt.

La fig. 53 donne la vue d'une pile de ce système composé de 12 couples de dimensions extrêmement restreintes et dont les vases sont en caoutchouc durci.

La *fig. 54* donne la vue d'un appareil complet pour l'application des courants continus, décrit au mol

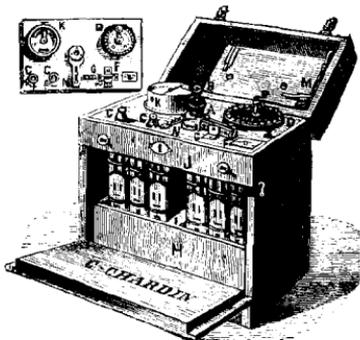


Fig. 54. — Pile au bisulfate de mercure à flotteurs de M. Chardin.

ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, page 219, et contenant des éléments au bisulfate de mercure à flotteurs. On met la pile en activité en soulevant la tige A. Les bornes de prise de courant sont en C, C.

La force électromotrice de ces éléments est de

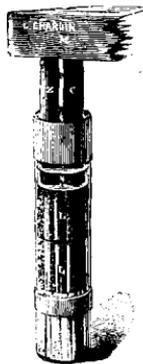


Fig. 55. — Vue d'un couple à flotteurs.

1,52 volt, leur résistance intérieure de 1 ohm; 20 éléments donnent dans les actions électrolytiques 35 milliampères.

Chaque élément se compose essentiellement d'une éprouvette V, plus haute que large (*fig. 55*), contenant deux flotteurs en liège paraffiné L, L₂, le sel excitateur (bisulfate de mercure) et de l'eau. Les zincs et les charbons sont vissés sur une planchette M. Quand l'élément est chargé, les flotteurs remontent à la surface et le flotteur supérieur se trouve au niveau d'un petit trait marqué sur l'éprouvette et qui sert

de repère. Dans cette situation, si l'on vient à soulever les flacons, ou si l'on vient à abaisser la planchette M, les flotteurs s'enfoncent dans le liquide, poussés par les zincs et les charbons; le liquide remonte à la surface et l'appareil fonctionne. Quand on rend la liberté aux flotteurs en laissant retomber les flacons ou en retirant la planchette, ils remontent à la surface. Ce système de fermeture est très commode.

PILES AU CHLORURE D'ARGENT.

Comme type de piles au chlorure d'argent employées en médecine, nous donnons la vue en coupe d'un élément construit par M. Gaiffe. Il se compose d'un vase en ébonite ayant une longueur d'environ 4 centimètres et un diamètre de 17 millimètres seulement (*fig. 56*), fermé par un couvercle à vis

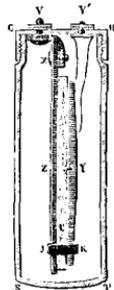


Fig. 56. — Pile au chlorure d'argent de M. Gaiffe.

sur lequel sont fixés un zinc amalgamé Z, une plaque de chlorure d'argent fondu Y et un coussin de papier buvard I. Ce coussin renferme le liquide excitateur (solution de chlorure de zinc à 5 %), et maintient le zinc et le chlorure d'argent à l'écartement voulu.

La force électromotrice de cet élément est de 1 volt.

PILES AU SULFATE DE COUVRE.

On emploie comme piles au sulfate de cuivre les divers types d'éléments déjà décrits. (V. PILES A DEUX LIQUIDES.)

5° PILES AU PEROXYDE DE MANGANÈSE ET AU CHLORHYDRATE D'AMMONIACQUE.

Le type de ces piles est l'élément Leclanché à vase poreux ou à plaques agglomérées. (V. PILES A UN SEUL LIQUIDE ET A DÉPOLARISANT SOLIDE OU LIQUIDE.)

Citons aussi la pile Gaiffe, composée d'un cylindre creux de charbon poreux plein de granules de peroxyde de manganèse. Ce cylindre et le zinc plongent dans un vase de verre contenant une solution de chlorure de zinc à 7 ou 8 %.

Le chlorure de zinc étant très soluble et déliquescent, les sels grippants, si nuisibles dans la pile Leclanché, ne sont plus à craindre. La force électromotrice est à peu près la même que celle de l'élément Leclanché, c'est-à-dire de 1,35 à 1,45 volt.

5° — Piles sèches.

On désigne sous le nom impropre de *pile sèche* toute pile dans laquelle les agents chimiques en présence sont ou solides par eux-mêmes ou tenus en absorption par des substances poreuses. La première pile sèche dérive de cette idée que le contact de deux corps peut suffire pour engendrer non seulement une force électromotrice, mais encore un courant électrique dans un circuit fermé.

Pile de Behrens. — La pile de Behrens, construite en 1805, était formée de disques zinc, cuivre et papier doré, empilés comme les disques de la pile à colonne de Volta.

Pile Deluc. — En 1810, Deluc se servit de fer étamé et de papier doré.

Pile Zamboni. — Zamboni proposa en 1812 des piles à colonne dans lesquelles les disques sont extrêmement minces et où les rondelles acidulées sont remplacées par du papier qui contient toujours un peu d'humidité. On étame ou argente des feuilles de papier sur une face et on fixe sur l'autre, à l'aide d'un corps gras, de la poudre fine de bioxyde de manganèse; quelques-unes de ces feuilles étant empilées de manière qu'elles présentent toutes le métal du même côté, on y découpe avec un emporte-pièce des disques de 0^m,02 ou 0^m,03 que l'on empile les uns sur les autres, de manière que le métal et l'oxyde soient toujours alternés, et on les comprime fortement entre deux disques de cuivre, reliés par une tige qui traverse normalement tous les disques en leur centre. Les deux disques de cuivre qui terminent la pile en deviennent les pôles. Le pôle positif correspond au dernier élément manganésé et le pôle négatif au premier élément argent ou étain. Il faut au moins 4.200 à 4.800 couples pour former une pile capable de quelques effets exigeant une très petite force, comme de dévier une feuille d'or suspendue verticalement ou une tige légère horizontale terminée par un disque de clinquant et pouvant tourner librement autour de son centre de gravité.

Les plus fortes piles sèches ne peuvent donner ni commotions ni étincelles. Bohnenberger les a utilisées à la construction d'un électromètre très sensible. Cet électromètre, muni d'un appareil condensateur, se compose simplement d'une feuille d'or suspendue verticalement à égale distance des pôles construits de deux piles sèches de même force. Pour peu que la feuille d'or soit électrisée, elle est attirée par le pôle voisin de l'une des piles et repoussée par l'autre. On a employé aussi des piles sèches pour la construction d'appareils à rotation continue pouvant servir de jouets. Une même pile sèche peut rester en activité pendant un grand nombre d'années.

Ces piles peuvent avoir une force électromotrice considérable; mais, en raison de leur résistance intérieure énorme, elles ne fournissent qu'une très faible quantité d'électricité. Elles n'ont pas été employées en électrothérapie. Cependant, le Dr R. Vigouroux les a utilisées comme agents esthésiogènes, c'est-à-dire pour provoquer la série de phénomènes nerveux que les actions électriques faibles déterminent chez les sujets atteints d'hystérie. Il les a aussi essayées pour des applications de longue durée dans certaines névralgies. Il ne se prononce pas sur leur valeur thérapeutique, qui mériterait de nouvelles études.

Pile de Watkins. — M. Watkins proposa, en 1828, une pile composée de plaques de zinc polies sur une surface et non sur l'autre, séparées par de petites

couches d'air. C'est une sorte de pile à auge formée par un seul métal et par l'air atmosphérique. La face polie joue le rôle d'élément positif dans chaque couple.

Pile sèche de Palmieri. — On a reconnu depuis longtemps que l'énergie des piles sèches de Zamboni éprouvait des variations très étendues, suivant l'état hygrométrique de l'air et la température. Ce genre de pile ayant acquis une certaine importance, par suite de son application à l'électromètre de Bohnenberger, il devenait intéressant de pouvoir les construire aussi constantes que possible. M. Palmieri y est parvenu d'une façon très simple.

Dans les modèles de piles Zamboni couramment employés on empile dans des tubes de verre des centaines de disques de papier et d'étain, et on termine aux deux extrémités par des rondelles métalliques constituant les pôles. Il arrive souvent, à cause de cette disposition, que, par suite d'un dépôt de vapeur

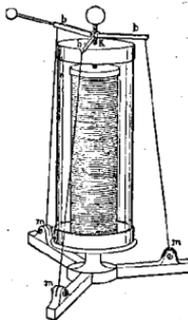


Fig. 57. — Pile sèche de M. Palmieri.

d'eau hygrométrique sur les tubes, les tensions se neutralisent en grande partie.

La pile sèche que M. Palmieri a imaginée se compose, comme à l'ordinaire, de séries de rondelles de papier recouvertes sur une face d'étain laminé mince et sur l'autre de peroxyde de manganèse en poudre fixé avec du lait; seulement, au lieu d'être introduites à frottement doux dans un tube de verre, elles sont empilées suivant l'axe d'un cylindre en cristal dont le diamètre intérieur excède de quelques millimètres celui des rondelles (fig. 57). Il résulte de là qu'une couche cylindrique d'air sépare la pile même de son enveloppe protectrice. La colonne de rondelles ainsi formée repose par sa base sur une masse métallique; elle se trouve comprimée à sa partie supérieure par un disque en cuivre maintenu par une vis K dont l'écran porte trois bras *b*, *b*, auxquels sont attachés trois laçets de soie pure fixés à autant de chevilles *m*, *m*, *m*.

Grâce à cette disposition, que la figure fait aisément comprendre, la pile, dont on peut régler ainsi la compression, conserve une constance remarquable pendant de longues années.

Les piles sèches, dont nous venons de citer les principaux types, n'agissent, en réalité, que grâce à l'humidité qui est toujours contenue dans l'air ambiant en plus ou moins grande quantité. On pourrait donc en conclure que leur force doit être moindre lorsqu'elles se trouvent dans une atmosphère très sèche. Il n'en

est rien cependant, parce que si d'une part l'action chimique diminue, d'autre part l'isolement des différentes parties de la pile augmente, et que ce que l'on perd d'un côté est regagné de l'autre.

Certains inventeurs désignent sous le nom de piles sèches des piles dont le liquide se trouve immobilisé dans une substance plus ou moins spongieuse; il en résulte qu'il est possible, en choisissant convenablement le corps absorbant, de rendre facilement transportables toutes les piles à liquide connues. Ainsi, pour les usages de la télégraphie militaire, on se sert de couples Leclanché, dont le liquide (eau saturée de sel ammoniac) imbibé des éponges tassées autour du vase poreux.

Parmi les principales piles de ce genre, nous citerons :

1° La Pile de M. Trouvé. — C'est une pile Daniell formée d'un disque de zinc Z et d'un disque de cui-

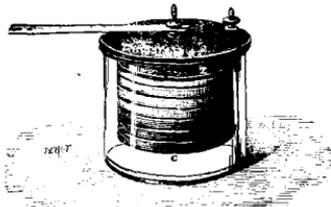


Fig. 58. — Pile sèche de M. Trouvé.

vre C placés parallèlement l'un à l'autre et séparés par une série de rondelles de papier buvard d'un diamètre un peu moindre. La moitié inférieure de ces rondelles est imbibée d'une solution saturée de sulfate de cuivre, l'autre moitié d'une solution de sulfate de zinc (fig. 58). Cette pile est très constante, mais elle

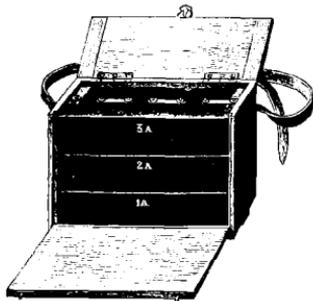


Fig. 59. — Pile sèche de M. Trouvé, pour la télégraphie militaire.

a une grande résistance intérieure. M. Trouvé a proposé son emploi pour la télégraphie militaire. Pour cette dernière application la pile est composée de trois boîtes superposées, en caoutchouc durci, renfermant chacune trois couples (fig. 59).

2° La Pile sèche de M. Desruelles. — M. Desruelles, constructeur à Paris, a imaginé de dessécher les piles au bichromate de potasse, de façon à les rendre portatives. Le procédé consiste à mélanger à la solution de bichromate une certaine quantité d'amiante, que ses propriétés spongieuses rendent apte à retenir par capillarité le liquide. L'amianté n'étant attaqué ni par l'acide sulfurique ni par le bichromate de potasse joue là un rôle purement mécanique, et sa présence ne donnant lieu à aucune réaction chimique la force électromotrice de la pile n'est pas modifiée; sa résistance intérieure n'est pas changée pourvu qu'on ait eu le soin de préparer une pâte suffisamment humide. M. Desruelles fait subir à la liqueur bichromatée entrant dans la composition de la pâte des modifications ayant pour but de la rendre hygrométrique et d'empêcher ainsi sa dessiccation. On prépare la solution de la manière suivante : on fait dissoudre 100 grammes de bichromate de potasse dans 1.000 grammes d'eau bouillants; lorsque la liqueur est refroidie, on ajoute 206 grammes d'acide sulfurique ordinaire, ce qui entraîne une élévation de température. Après refroidissement, on ajoute à la liqueur 10 grammes de soude caustique et 60 grammes de glycérine. Enfin, on termine la préparation de la pâte en y mêlant 700 grammes d'amianté en courtes fibres et aussi pur que possible.

Le type d'élément qui paraît le plus convenable se compose d'une boîte en ébonite dans le fond de laquelle est mastiquée une lame de charbon reliée par un fil de platine à une borne fixée sur le couvercle de la boîte. Une deuxième borne, placée également sur le couvercle, est reliée à une tige de cuivre glissant à frottement dur dans un trou pratiqué au centre de celui-ci. La partie supérieure de la tige de cuivre se visse dans une lame de zinc parallèle à la lame de charbon. Entre ces deux plaques on met une couche de la pâte d'amianté, et lorsqu'on veut faire fonctionner l'élément, on appuie sur la tige de cuivre, qui fait descendre la plaque de zinc et l'amène au contact de la pâte.

Ces piles, d'un transport facile, ont été utilisées pour l'inflammation des torpilles et des fourneaux de mine, l'éclairage momentané des lampes à incandescence, l'allumage des hecs de gaz, etc.

En employant le même procédé, M. Desruelles a desséché aussi la pile Leclanché pour les applications que l'on en fait dans les trains. (V. INTERCOMMUNICATION.)

3° La Pile de M. Thiébaud. — La pile Thiébaud se compose d'un vase cylindrique extérieur en zinc constituant le pôle négatif; au centre de ce vase est placée une lame de charbon entourée sur chaque face de deux lames d'agglomérés au peroxyde de manganèse et charbon, système Leclanché. Dans l'intervalle existant entre ce noyau et la paroi intérieure du vase de zinc on coule une bouillie composée de plâtre, de chlorhydrate d'ammoniaque et d'eau. En peu d'instants cette bouillie fait prise et l'élément devient transportable. Comme le plâtre est une substance hygrométrique, il absorbe l'humidité de l'air, et on obtient ainsi une véritable pile Leclanché dont la résistance intérieure est assez faible à cause de la grande surface du pôle zinc.

4° La Pile de M. Gassner. — C'est encore une pile genre Leclanché, composée, comme la précédente, d'un vase cylindrique en zinc contenant un tube en aggloméré de charbon et peroxyde de manganèse. L'intervalle existant entre ce noyau et la paroi intérieure du vase de zinc est rempli d'un mélange d'oxyde de zinc, de chlorhydrate d'ammoniaque et de plâtre.

Cette pile a une force électromotrice de 1,20 volt environ et une résistance intérieure de 0,40 ohm.

5° La Pile de M. Germain. — Cette pile, imaginée en 1886, se compose d'une lame de zinc amalgamé, d'un bloc de cofferdam, retenant par absorption une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque et d'une électrode de charbon de corne entourée de granules de peroxyde de manganèse (fig. 60); le tout est enfermé dans une boîte en bois enduite intérieurement d'un vernis isolant et fermée par un couvercle maintenu à l'aide de vis. Entre le couvercle et l'électrode, qui occupe la partie supérieure de la boîte, des lames de ressort exercent une pression constante sur l'ensemble. Quand la pile comporte plusieurs couples



Fig. 60. — Pile au cofferdam, de M. Germain.

réunis en série, elle se compose d'une caisse à compartiments; chaque casier contient un couple, comme le montre la figure.

Le poids moyen d'une pile ayant un volume extérieur de 1,238 décimètre cube est de 1,470 kilogramme; la force électromotrice est de 4 volt $\frac{1}{2}$, la résistance intérieure de 3 ohms, l'intensité du courant de 0,56 ampère, l'énergie électrique de 0,75 watt. Cette pile est d'un emploi commode en télégraphie, téléphonie, pour l'installation des sonneries à grande distance, etc.

6° La Pile à l'agar-agar. — M. R. Guérin a imaginé d'employer une gélatine végétale, l'agar-agar ou gelose, découverte par Payen il y a environ une trentaine d'années. Elle est extraite d'une algue des mers du Japon et peut absorber jusqu'à 550 fois son poids de liquide. Comme, de plus, elle est imputrescible, elle est utilisable pour immobiliser les liquides qui ne contiennent pas d'acide fort; c'est ainsi que l'on a fabriqué des piles sèches ou plutôt humides, système Leclanché, Daniell, Callaud, etc., et aussi des piles au chlorure d'argent.

II. — PILES THERMO-ÉLECTRIQUES.

Seebeck a découvert, en 1824, que si l'on formait un circuit avec deux barres de métaux différents soudées entre elles à leurs deux extrémités, et si l'on venait à chauffer l'une des soudures, le circuit était parcouru par un courant électrique.

Ce nouveau genre de phénomènes a été complètement étudié, notamment par Becquerel, Gauguain et William Thomson. Nous en allons exposer la théorie complète.

L'expérience a permis d'établir les lois suivantes :

1° Loi de Volta. — Dans un circuit métallique quelconque, dont tous les points sont à la même température, il n'y a jamais de courant.

2° Loi de Magnus. — Dans un circuit homogène, il n'y a jamais de courant permanent, quelles que soient la forme du conducteur et les variations de température qui existent entre les différents points du circuit.

3° Loi des Températures successives (Becquerel). — Pour un couple donné, la force électromotrice relative à deux températures quelconques t et t' est égale à la somme des forces électromotrices qui correspondent aux températures t et t' d'une part, puis t et t' d'autre part, étant une température intermédiaire entre les deux premières.

4° Loi des Métaux intermédiaires (Becquerel). — Si deux métaux A et B sont séparés dans un circuit par un ou plusieurs métaux intermédiaires maintenus tous à une même température t , la force électromotrice est la même que si les deux métaux étaient unis directement et la soudure portée à la même température t .

5° Loi de Thomson. — Entre deux points d'une barre d'un métal homogène, portés à des températures t et t' , il existe une différence de potentiel proportionnelle à la différence de température ($t - t'$), et un certain coefficient variable lui-même avec la température et que Thomson a appelé *chaleur spécifique d'électricité*.

6° Loi de Tait. — La chaleur spécifique d'électricité est proportionnelle à la température absolue et un coefficient constant pour chaque métal.

La connaissance des lois précédentes va nous permettre de déterminer la force électromotrice d'un couple thermo-électrique quelconque, en fonction de températures de ses soudures.

Désignons par A et A' les métaux qui composent le couple. Soient H₁ et H₂ les variations brusques de potentiel aux soudures, α_1 et α_2 les chaleurs spécifiques d'électricité des métaux A et A', T₁ et T₂ les températures absolues entre lesquelles fonctionne le couple, et T la température absolue d'un point quelconque du conducteur.

La force électromotrice E du couple sera :

$$E = H_1 - H_2 + \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_1 - \alpha_2) dT.$$

Introduction du principe de la conservation de l'énergie. — Remarquons de suite que, d'après le principe de la conservation de l'énergie, toute production ou disparition d'énergie électrique doit correspondre dans le cas actuel une absorption ou un dégagement de chaleur.

Il en résulte que si l'intensité du courant est I

1° Il y aura, suivant le sens de ce courant, absorption ou dégagement à chaque soudure d'une quantité de chaleur proportionnelle à H₁I ou — H₁I. Ce phénomène a été vérifié expérimentalement par Peltier. (On le désigne sous le nom d'EFFET PELTIER.)
2° Sur un élément du conducteur compris entre températures T et T + dT, il y aura absorption ou dégagement d'une quantité de chaleur proportionnelle à IdT. Comme l'on peut poser, d'après la loi Tait, $\alpha = KT$, on voit qu'entre deux points du conducteur aux températures T₁ et T₂, il y aura absorption ou dégagement d'une quantité de chaleur proportionnelle à

$$\frac{KI}{2} [T_2^2 - T_1^2].$$

Ce dernier phénomène a été vérifié expérimentalement par M. Thomson, M. Tait et M. Leroux. lui a donné le nom d'EFFET THOMSON.

Introduction du Principe de Carn. — Dès lors, si un courant se produit dans un thermo-électrique en absorbant de la chaleur en certains points et en en dégageant en d'autres, on

en faisant parcourir le circuit par un courant égal et de signe contraire, au moyen d'une source de force électromotrice extérieure, faire un transport inverse de la chaleur. Les quantités de chaleur transportées dans un cas et dans l'autre seraient égales si la résistance R du circuit était très faible et le terme RI négligeable.

Dans ces conditions, on doit considérer une pile thermo-électrique comme une machine thermique réversible. On peut donc lui appliquer le principe de CARNOT, et écrire :

$$\frac{H_2}{T_2} - \frac{H_1}{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{T} dT = 0.$$

Pour une différence de température infiniment petite, on aurait :

$$(1) \quad \frac{d}{dT} \left(\frac{H}{T} \right) + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{T} = 0.$$

Si on désigne par K et K' les coefficients constants relatifs aux métaux A et A', cette équation devient :

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{H}{T} \right) + (K' - K) = 0,$$

d'où l'on tire :

$$\frac{H}{T} + (K' - K)T + c^1 = 0.$$

Poisons :

$$T_n = \frac{-c^1}{(K' - K)} \quad \text{et} \quad (K' - K) = \sigma,$$

il vient :

$$H = \sigma T(T_n - T),$$

L'équation (1) peut s'écrire :

$$\frac{1}{T} \frac{dH}{dT} - \frac{H}{T^2} + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{T} = 0.$$

On en tire :

$$\frac{H}{T} = \frac{dH}{dT} + \sigma_2 - \sigma_1,$$

on a alors :

$$\frac{dH}{dT} = \frac{H}{T};$$

d'où :

$$E = \int_{T_1}^{T_2} \frac{H}{T} dT,$$

et enfin l'on a pour la force électromotrice cherchée :

$$E = \sigma (T_2 - T_1) \left(T_n - \frac{T_1 + T_2}{2} \right).$$

Il résulte de cette formule que si l'on maintient, par exemple, la soudure froide à une température constante, et si, prenant comme abscisse la différence des températures des deux soudures, on élève en chaque point une ordonnée proportionnelle à la force électromotrice correspondante, on aura une parabole. Ce phénomène a été vérifié par GAUGAIN et THOMSON.

Cette parabole a son axe vertical. La force électromotrice d'un couple dont une des soudures est maintenue à une température constante n'augmente donc pas indéfiniment au fur et à mesure que l'on élève la température de l'autre soudure. Elle passe par un maximum, puis elle décroît et finit par changer de signe. Ce phénomène est connu sous le nom d'inversion.

Pouvoir thermo-électrique. — On appelle ainsi la dérivée $\frac{dE}{dT}$ de la force électromotrice, par rapport à la température. D'après ce qui précède :

$$\frac{dE}{dT} = \frac{H}{T} = \sigma (T_n - T).$$

Le pouvoir thermo-électrique de deux métaux est donc représenté par une ligne droite en fonction de la température. Cette proposition a été vérifiée expérimentalement par M. TALLI.

Supposons qu'on prenne les pouvoirs thermo-élec-

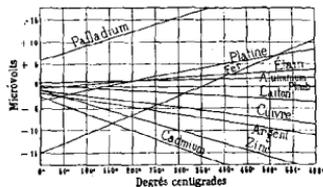


Fig. 61.

triques par rapport à un même métal pour lequel K serait nul, on aurait :

$$\frac{dE}{dT} = K'(T_n - T).$$

(Le plomb semble remplir la condition voulue.)

On aura ainsi un diagramme, dont nous donnons un exemple, fig. 61, et dont la connaissance permettra de déterminer la force électromotrice d'un couple thermo-électrique quelconque.

Point neutre. — Si dans la formule qui nous donne l'expression de la force électromotrice d'un couple en fonction des températures T_1 , T_2 et T_n on fait $T_1 + T_2 = 2T_n$, on voit que la force électromotrice est nulle. Ainsi donc, toutes les fois que les températures des deux soudures seront également différentes de cette température T_n , aucun courant ne parcourra le couple; c'est ce qui lui a fait donner le nom de *point neutre*.

Si l'on considère sur le diagramme ci-dessus le point d'intersection de deux lignes relatives à deux métaux, la température correspondante sera celle du point neutre de ces deux métaux.

TABLEAU POUR LE CALCUL DES POUVOIRS THERMO-ÉLECTRIQUES.

MÉTAUX.	POINT NEUTRE, par rapport au plomb, en degrés centigrades T_n .	TANGENTE de l'angle avec le plomb K' .
Cadmium	- 69	- 0,0364
Zinc	- 32	- 0,0283
Argent	- 115	- 0,0145
Cuivre	- 68	- 0,0124
Laiton	+ 27	- 0,0056
Plomb	"	"
Aluminium	- 113	+ 0,0026
Étain	+ 45	+ 0,0067
Maillechort	- 314	+ 0,0231
Palladium	- 181	+ 0,0311
Fer	+ 257	+ 0,0420

La deuxième loi de Becquerel permet d'utiliser le tableau ou le diagramme précédents établis par rap-

port au plomb, pour déterminer la force électromotrice d'un couple formé avec deux quelconques des métaux compris dans le tableau ou le diagramme.

Si K , et K_1 , sont les coefficients correspondant à ces deux métaux, t_1 et t_2 , le point neutre de chacun par rapport au plomb, t_m la température moyenne des soudures, nous aurons :

$$\frac{dE}{dT} = K_1(t_1 - t_m) - K_2(t_2 - t_m) = m.$$

La force électromotrice du couple sera donnée en microvolts (en supposant les températures exprimées en degrés centigrades) par la formule :

$$E = m(T_1 - T_2).$$

Les piles thermo-électriques, tout en présentant un curieux exemple de transformation de chaleur en travail, n'ont pu être utilisées jusqu'ici que dans des cas spéciaux. Elles présentent au point de vue pratique deux grands défauts : 1° elles sont très lourdes; 2° elles ont un mauvais rendement.

Le premier défaut pourrait être facilement évité. En effet, la force électromotrice d'un couple est indépendante de la longueur des barreaux; il y a donc intérêt à les faire aussi courts que possible, car non seulement on diminue le poids de la pile, mais on augmente sa puissance, sa résistance intérieure décroissant en même temps. Une pareille modification ne peut avoir aucune influence sur le rendement, puisque les lois de propagation de la chaleur sont les mêmes que celles de l'électricité.

Quant au mauvais rendement de la pile thermo-électrique, il tient à ce que la chaleur passe par conductibilité directe de la source de chaud à la source de froid. On peut néanmoins l'améliorer dans une certaine mesure en rendant aussi grande que possible la densité du courant qui traversera la pile, ce à quoi on arrivera encore en employant des barreaux très courts.

Néanmoins le calcul montre que ce rendement ne pourra jamais atteindre une valeur comparable à celle de nos machines à vapeur. Aussi pensons-nous que ce genre d'appareils n'est pas appelé à rendre de grands services.

PRINCIPAUX TYPES DE PILES THERMO-ÉLECTRIQUES.

Pile d'Ersted et Fourier. — La pile thermo-électrique d'Ersted et Fourier se compose d'un petit nombre de barreaux de bismuth et d'antimoine alternés et soudés les uns aux autres en cercle. Les points de soudure étaient, de deux en deux, portés à une température de 200° à 300°, au moyen de petites lampes, et les autres maintenus à 0° à l'aide de bains de glace fondante.

Pile de Nobili et Melloni. — De tous les appareils employés à la détermination des températures, celui qui a rendu le plus de services à la science est la pile de Nobili et Melloni. Cette pile se compose d'une série de barreaux alternativement de bismuth $b, b, b, b,$ et d'antimoine $a, a, a,$ (fig. 62); ces barreaux ont une disposition telle que toutes les soudures de rang pair soient d'un côté et celles de rang impair du côté opposé : le tout est encaissé dans une enveloppe métallique, et séparé des parois par un mastic isolant. Les deux barreaux extrêmes communiquent avec des tiges extérieures que l'on peut mettre en rapport avec un galvanomètre. Deux tuyaux creux servent à garantir la pile, et quand on dirige l'axe d'un de ces tuyaux

vers une source de chaleur, les soudures de même ordre s'échauffent : la marche de l'aiguille aimantée indique l'élevation de température.

Mais, détail à noter, quand la pile est frappée par l'électricité qui émane d'une source, les soudures s'échauffent, un courant a lieu; et l'aiguille du galvanomètre chassée par ce courant, s'éloigne du zéro, décrit un arc puis arrive à l'extrémité de cet arc, elle revient vers le zéro, sans l'atteindre, en exécutant ainsi une série d'oscillations, avant de se fixer sur l'une des divisions du cadran. La durée de chaque expérience exige en conséquence un temps assez long. Melloni eut l'heureuse idée de chercher s'il n'y avait pas une relation constante entre le premier arc décrit, qu'il appelle *arc d'impulsion*, et la position à laquelle l'aiguille s'arrête définitivement. Il a reconnu qu'à un premier arc d'impulsion décrit

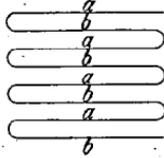


Fig. 62.

miné correspondait une déviation définitive toujours la même. Par exemple, cet arc étant de 35° sur la pile particulière et le galvanomètre qu'il employait, reconnut que toujours la déviation définitive était à 20°. Il a construit alors un tableau des arcs d'impulsion successifs et des déviations correspondantes. Chaque expérience ne dure plus alors qu'un instant très court, celui que l'aiguille met à accomplir son premier mouvement.

Le fil du galvanomètre, au lieu d'être fin et de fournir un grand nombre de tours, doit être assez gros : le nombre de ses tours ne doit pas dépasser 300. La sensibilité de la pile thermo-électrique est telle que, la distance de 1 mètre, la chaleur de la main suffit pour développer un courant accusé par une déviation sensible de l'aiguille aimantée.

La pile de Melloni est un instrument de laboratoire. Marcus, Becquerel, Clamond et Noté ont cherché à construire des piles thermo-électriques industrielles. Ces piles reposent sur les principes développés plus haut; en voici une description sommaire :

Pile Marcus. — Elle se compose d'une série de barreaux positifs formés d'un alliage de 10 de cuivre 6 de zinc et 6 de nickel, et d'une série de barreaux négatifs en alliage d'antimoine (12 parties), de zift (5 parties) et de bismuth (1 partie). Les premiers ont 0^m,189 de longueur, 0^m,016 de largeur et 0^m,004 d'épaisseur; les seconds ont 0^m,162 de longueur, 0^m,016 de largeur et 0^m,0135 d'épaisseur; 32 couples composés chacun d'un barreau positif et d'un barreau négatif sont vissés ensemble de sorte que tous les barreaux positifs sont inclinés d'un côté, tous les barreaux négatifs de l'autre : le tout ayant la forme d'une grille.

La pile entière est formée de deux de ces grilles vissées ensemble en forme de toit et renforcées par une barre de fer; elle est disposée pour être chauffée au gaz. On a employé le mica pour isoler la barre de fer des éléments; de plus les parties des éléments qui doivent plonger dans l'eau froide sont recouvertes d'un verre fusible. La pile entière a 0^m,64 de long, 0^m,42 de large et 0^m,16 de hauteur. La force électromotrice

d'un seul couple est le 1/25 de celle d'un couple Daniell, et sa résistance est de 0,004 ohm.

Marcus a construit en même temps un fourneau destiné à chauffer une pile de 768 couples, représentant la valeur de 30 éléments Bunsen et consommant par jour 120 kilogrammes de charbon.

Pile Becquerel. — Elle se compose de sulfure de cuivre artificiel et de cuivre, ou de sulfure de cuivre et de maillechort.

Pile Clamond. — C'est Clamond qui a, le premier, construit un modèle de pile thermo-électrique véritablement pratique. Il a adopté l'alliage de Marcus :

zinc et antimoine, associé au fer.

Les éléments thermo-électriques sont disposés par séries de 10 ; chaque série forme une couronne circulaire contenant, comme le montre la vue en plan (fig. 63), 10 barreaux A, A... d'alliage de Marcus reliés l'un à l'autre par des lames de fer F, F... très minces et qui dépassent beaucoup, de manière à offrir une grande surface libre, ce qui dispense de refroidir artificiellement l'une des séries de soudures.

Les soudures de même rang sont d'une part du côté du centre et de l'autre à la circonférence de la couronne. Dans l'intérieur du cylindre formé par une série de couronnes semblables superposées se trouve un tuyau de terre réfractaire amenant du gaz d'éclairage. On peut ainsi chauffer fortement les soudures centrales.

La fig. 64 donne la vue d'une pile thermo-électrique de Clamond chauffée par un bec de gaz.

M. Clamond a construit aussi un modèle de pile, basé toujours sur le même système, mais destiné à faire de l'éclairage électrique. Cette pile (fig. 65), qui comprend 60 chaînes de 100 éléments, soit en tout 6.000 éléments, est chauffée par un fourneau alimenté

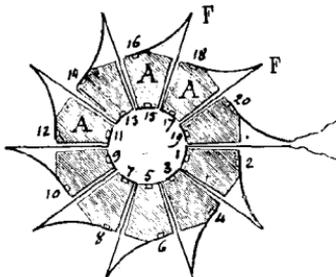


Fig. 63. — Vue en plan d'une série d'éléments thermo-électriques.

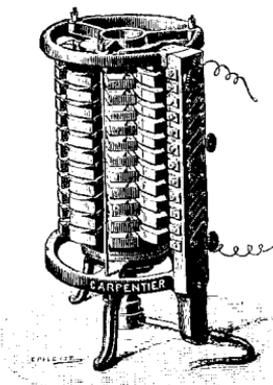


Fig. 64.
Pile thermo-électrique Clamond.

au coke : elle a 2m,50 de hauteur et 1 mètre de diamètre. Elle donne le même courant que 121 Bunsen fraîchement montés, et la dépense totale de coke est de 10 kilogrammes à l'heure.

Pile de Noël. — Cette pile, qui a figuré à l'Exposition universelle de 1878 (section autrichienne), se

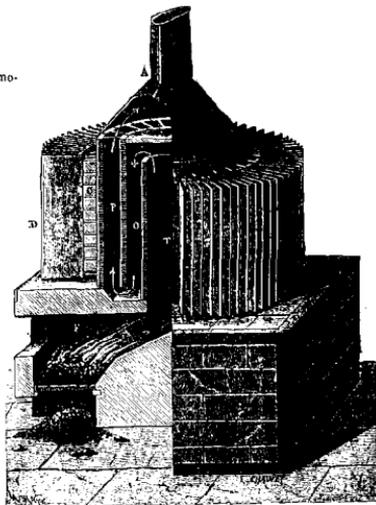


Fig. 65.
Pile thermo-électrique Clamond pour l'éclairage électrique.

compose de maillechort et d'un alliage à base d'antimoine, comme celui de la pile Marcus.

La soudure chaude n'est pas chauffée directement ; elle est renfermée dans une capsule de laiton (fig. 65) du centre de laquelle sort une tige de cuivre rouge terminée en cône et qui reçoit la chaleur de la flamme de gaz dans laquelle elle est plongée.

Pour construire un couple, on met au fond d'un moule convenable la capsule de laiton dans laquelle pénétrant au centre la tige de cuivre rouge et latéralement 4 fils de maillechort. On verse l'alliage dans le moule, ce qui établit directement le contact sans soudure étrangère entre le maillechort et l'alliage. La soudure froide est faite à l'étain et, pour faciliter le refroidissement, on y soude encore, comme dans la pile Clamond, une ou plusieurs feuilles minces de cuivre ou de laiton qui présentent une grande surface. Chaque élément a une force électromotrice égale à $\frac{1}{16}$ de Daniell et une résistance de 0,026 ohm. Une pile de 20 couples décompose l'eau. La fig. 67



Fig. 66.

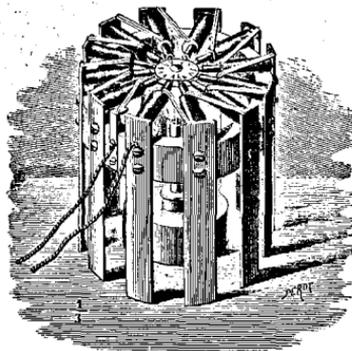


Fig. 67. — Pile thermo-électrique de Noël (de Vienne) chauffée avec une lampe.

donne la vue d'une pile de Noël chauffée avec une lampe.

Pile de M. Riatti. — Le professeur Vincent Riatti a construit une nouvelle pile thermo-électrique fondée sur la production d'électricité due à la différence de température de deux parties d'un seul liquide, le sulfate de cuivre en dissolution. L'appareil se compose essentiellement d'un vase en porcelaine à section rectangulaire, plus haut que large; en deux points de sa hauteur il est traversé par des tuyaux de cuivre horizontaux distants de $D=15$ environ d'axe en axe; le tuyau supérieur donne passage à de la vapeur d'eau à 5 atmosphères (130° environ), le tuyau inférieur à un courant d'eau froide. Le sulfate de cuivre en dissolution remplit le vase et baigne les tuyaux. Le circuit se trouvant fermé, un courant électrique prend naissance; le cuivre de l'un des tuyaux se dissout et se dépose sur l'autre. La pile ainsi obtenue est, parait-il, constante et peu coûteuse comme entretien.

III. — PILES PHOTO-ÉLECTRIQUES.

On désigne sous le nom de piles photo-électriques ou piles actino-électriques (du grec *aktis*, rayon), celles dans lesquelles le courant est engendré par l'action de la lumière sur les éléments qui les composent.

M. le Dr Werner-Siemens et MM. C.-E. Fritts et Hopkins ont construit des piles de ce genre, et mettant à profit la propriété que possède le sélénium de produire un courant électrique lorsqu'on l'expose à la seule action de la lumière.

Il résulte, en effet, d'un mémoire présenté en 1871 à la Société royale de Londres, par MM. Adams et R.-E. Day, que la lumière, agissant sur le sélénium peut donner réellement naissance à un courant. Les expérimentateurs avaient relié un fragment de ce métal à un galvanomètre. Tant que le sélénium n'était pas éclairé, il n'y avait aucune action; mais l'exposant à la lumière d'une bougie, on constata une déviation énergique de l'aiguille du galvanomètre; cette déviation retombait immédiatement à zéro quand on interposait un écran devant la lumière. Cette expérience fut répétée de diverses manières, avec différentes sources de lumière et donna toujours naissance à un courant.

Les fragments de sélénium sur lesquels on opérait étaient préparés de la façon suivante : le fragment dont la longueur pouvait varier de 0^m,0064 à 0^m,625 était détaché d'un barreau de sélénium vitreux. On prenait un fil de platine, on l'enroulait en forme de petit anneau autour d'un de ses bouts et on recouvrait le reste du fil à angle droit sur cet anneau. On chauffait à la flamme d'une lampe à alcool les anneaux de deux fils ainsi disposés et on les enfonçait dans les extrémités du petit cylindre de sélénium, auquel on donnait ainsi des électrodes de platine; tout était ensuite recuit.

Comme les fragments de sélénium employés à ces expériences avaient été fréquemment traversés par des courants électriques, il parut désirable d'essayer l'effet de la lumière sur des morceaux de sélénium qui n'avaient pas encore été traversés par des courants électriques; on prépara donc trois fragments aussi semblables que possible et on les fit recuire. On trouva que deux d'entre eux étaient sensibles à l'action de la lumière c'est-à-dire produisaient un courant électrique lorsque la lumière tombait sur eux; mais le troisième ne donna pas trace de sensibilité. Il résulte de cette expérience que trois morceaux pris sur la même pièce de même longueur, recuits ensemble, peuvent, par suite de quelque légère différence dans leur état moléculaire, présenter une différence considérable dans leur sensibilité à l'action de la lumière.

MM. Adams et Day firent encore plusieurs expériences et formulèrent comme suit les résultats obtenus.

1° Les fragments de sélénium recuits sont en général sensibles à la lumière, c'est-à-dire que sous l'action de la lumière il s'établit entre les molécules une différence de potentiel qui peut, dans certaines conditions, produire un courant électrique à travers la substance.

2° La sensibilité est différente aux différents points de la même pièce.

3° En général, le courant va de la partie la moins éclairée à la partie la plus éclairée du sélénium; mais des différences accidentelles dans l'arrangement moléculaire peuvent faire que cette direction soit renversée.

Les courants produits dans le sélénium par l'action de la lumière ne ressemblent pas aux courants thermo-électriques dus à l'échauffement des soudures en l'électrode de platine et le sélénium; car dans bien des cas, le courant produit avait sa plus grande intensité lorsque la lumière était concentrée sur des points où le sélénium ne coïncidait pas avec les soudures; outre, le courant se produit soudainement quand on expose la substance à la lumière, et l'aiguille du galvanomètre retombe brusquement à zéro quand on masque la lumière; l'action graduelle due au réfr

dissement graduel de la soudure faisait totalement défaut. Quand la lumière tombe sur une soudure, le courant va du sélénium au platine à travers la soudure, ce qui n'est pas d'accord avec la place assignée au sélénium dans la série thermo-électrique des métaux.

Voici encore le résultat de certaines expériences faites avec deux morceaux de sélénium de faible résistance et traversés par un courant faible.

1^o Quand la lumière tombe sur le bout du barreau de sélénium par lequel entre le courant venant du pôle positif de la pile, elle *contrarie* le passage du courant.

2^o Quand elle tombe sur le bout par lequel le courant sort du métal, elle *favorise* son passage.

Avec des morceaux de sélénium présentant une grande résistance on a trouvé que dans tous les cas la lumière facilite le passage du courant de la pile, quelle que soit sa direction. On a reconnu aussi que dans les morceaux qui paraissent trop peu sensibles à l'action de la lumière pour produire un courant par eux-mêmes quand ils sont éclairés, l'action de la lumière facilite le passage à travers le sélénium de courants dus à une force électromotrice extérieure.

MM. Adams et Day expliquent les phénomènes qu'ils ont observés par ce fait que le sélénium vitreux chauffe à son point de ramollissement ne se refroidit pas uniformément dans toute sa masse. Les parties extérieures se refroidissent plus vite que les parties intérieures, on a, en passant de l'extérieur au centre, une série de couches dans un état de cristallisation de plus en plus parfait. Or, la lumière tend à favoriser la cristallisation; quand elle tombe sur la surface d'un bâton de sélénium dans cet état, elle tend probablement à favoriser la cristallisation dans les couches extérieures et par suite à produire du dedans au dehors un flux d'énergie qui, dans le cas du sélénium et dans certaines circonstances, paraît produire un courant électrique. On explique de la même façon la diminution de résistance électrique produite dans le sélénium par la lumière quand ce métal est traversé par un courant extérieur, car en passant à l'état cristallin le sélénium devient meilleur conducteur de l'électricité (Gordon).

Les propriétés curieuses du sélénium ont conduit M. Siemens à construire un photomètre fondé sur l'action de la lumière sur ce métal.

M. Morise a imaginé un instrument destiné à mesurer l'intensité relative des rayons lumineux solaires aux différentes hauteurs au-dessus de l'horizon. Cet instrument, appelé actinométre, est également basé sur les différences de résistance que possède le sélénium lorsqu'il est soumis à l'action de rayons lumineux de différente intensité.

Enfin la pile au sélénium est elle-même un véritable instrument de mesure pour l'intensité de la lumière, puisque le courant qu'elle fournit est fonction de l'action lumineuse; elle a reçu le nom de *pile actinométrique*.

Rappels aussi que le photomètre est basé sur la variation de conductibilité du sélénium.

La pile au sélénium de M. Fritts, de New-York, se compose d'une plaque métallique avec laquelle le sélénium puisse adhérer. On place le sélénium entre cette plaque et une autre en acier, on chauffe de façon à faire fondre le sélénium et on le laisse refroidir lentement sous pression; la plaque d'acier non adhérente est enlevée lorsque l'élément est refroidi et on recouvre la partie nue du sélénium d'une feuille d'or battu, ce qui permet à la fois de prendre les deux pôles de la pile au sélénium, l'un par la plaque métallique adhérente, et l'autre par la feuille d'or, qui, par suite de sa faible épaisseur et de sa transparence, permet

à la lumière d'agir sur le sélénium comme s'il était à découvert.

M. Fritts signale un grand nombre d'applications pour sa pile au sélénium, notamment celle qui consisterait à s'en servir comme photomètre, on s'affranchissant de la difficulté, bien connue en photométrie, qui provient de la couleur de la lumière que l'on veut mesurer. Il propose de recouvrir les éléments de surfaces transparentes ne laissant chacune passer qu'une sorte de rayons lumineux, par exemple d'une lame mince d'or qui ne laisse passer que les rayons verts, d'une lame mince d'argent qui ne laisse passer que les rayons bleus, etc. On pourrait ainsi, en faisant agir tous ces éléments sur un même galvanomètre, obtenir une déviation résultante représentant la véritable valeur de la source lumineuse étudiée.

Signalons enfin la pile photo-électrique construite par M. P. Borgmann pour démontrer l'existence d'un courant produit par l'influence de la lumière. Elle se compose d'un tube en verre en forme d'U contenant de l'acide sulfurique dilué, dans les branches duquel plongent des lames minces d'argent recouvertes d'iod. Lorsqu'on projette un rayon lumineux sur l'une des branches de ce tube, on constate qu'il y a production d'électricité avec un GALVANOMÈTRE très sensible, par exemple celui de Thomson. Une pile construite de cette manière est pendant très longtemps sensible à la lumière.

EFFETS DES PILES EN GÉNÉRAL.

Les effets obtenus au moyen de l'électricité dynamique se divisent en effets physiologiques, physiques et chimiques. Les effets chimiques et physiologiques sont d'autant plus considérables que la différence de potentiel est plus forte aux pôles de la pile ou que les couples sont plus nombreux; la grandeur des effets physiques dépend, au contraire, de la quantité d'électricité dérivée dans l'unité de temps.

Effets physiologiques. — Ces effets consistent en des commotions plus ou moins fortes, qui peuvent aller jusqu'à devenir dangereuses, même pour un animal de grande taille. L'expérience de Galvani est la première où l'on ait observé l'action de l'électricité de la pile sur les animaux (V. GALVANISME). Les commotions que reçoivent ces derniers sont des phénomènes très complexes; le courant traverse à la fois les nerfs, les muscles, les os, les liquides soumis à son action. Les physiologistes se sont livrés à des études spéciales pour reconnaître le rôle que joue, dans le phénomène, chaque élément de l'organisme.

Action sur le nerf. — Il y a deux espèces de nerfs : ceux du mouvement et ceux du sentiment; en opérant sur chacune d'elles on a reconnu que si on excite exclusivement les nerfs du sentiment, l'animal vivant éprouve de vives douleurs. Pour que le résultat soit bien net, il faut agir, bien entendu, sur la partie du nerf qui est attaché à la moelle épinière, c'est-à-dire au centre nerveux. Si l'on excite les nerfs du mouvement, la commotion seule se produit. (V. PHYSIOLOGIE.)

Action sur les muscles. — Claude Bernard est parvenu à agir sur le muscle seul, ce qui n'était pas facile, attendu que les nerfs se ramifient dans toutes les profondeurs de l'organisme et sont nécessairement atteints dès que les pôles de la pile sont en contact avec les fibres musculaires. (V. POINTS MOTEURS.)

Claude Bernard a découvert que le curare pouvait paralyser le système nerveux sans paralyser les muscles. Ainsi, une grenouille empoisonnée par cette substance et préparée ensuite par la méthode de Gal-

vani ne s'agit plus quand le courant traverse le nerf seulement. En plaçant le muscle sur le trajet du courant on n'aura donc pas à craindre cette fois que l'effet observé se complique de l'excitation produite sur le système nerveux. Dans ces conditions le muscle se contracte lorsque les deux pôles de la pile sont mis en contact en deux points pris sur le trajet des fibres musculaires. Le mouvement cesse dès que le courant est établi et ne recommence que si, après avoir rompu la communication, on la rétablit de nouveau.

Entre les effets produits sur les muscles et sur les nerfs il y a toutefois cette différence essentielle que pour faire contracter les premiers il faut employer un courant plus énergique que pour produire une action sensible sur les seconds.

Les autres parties de l'organisme sont purement passives. Toutefois par un courant intense des décompositions électro-chimiques allèrent notablement les liquides de l'organisme, et des phénomènes physiologiques peuvent être la conséquence de cette modification. Ce sont là des effets plutôt secondaires que directs des courants voltaïques (Boutan et d'Almeida). [V. aussi *PHYSIOLOGIE*.]

Effets calorifiques. — Un fil métallique à travers lequel passe un courant voltaïque s'échauffe, devient incandescent, fond ou se volatilise. L'iridium et le platine, qui résistent au feu de forge le plus intense, sont fondus avec la plus grande facilité par la pile. Despretz a pu fondre en même temps jusqu'à 250 grammes de platine; le charbon est le seul corps qui ait résisté jusqu'ici. Despretz, avec une pile formée de six cents couples Bunsen, a cependant ramolli et soudé ensemble des baguettes de charbon bien pur. Le fer et le platine fondus par la pile dans l'air brûlent en répandant une lumière brillante éblouissante; le plomb dégage une lumière purpurine, l'étain et l'or une lumière bleuâtre; celle que donne le zinc est mêlée de blanc et de rouge; le cuivre et l'argent donnent une lumière verte.

L'échauffement des tiges métalliques est d'autant plus considérable que leur diamètre est moindre et que leur substance est moins bonne conductrice. On le vérifie aisément en introduisant dans le circuit une chaîne formée de plusieurs chaînons de divers diamètres et de substances différentes. Si plusieurs chaînons de même nature ne sont pas de mêmes diamètres, les plus petits pourront être portés au rouge, tandis que d'autres se seront à peine échauffés. Si dans le circuit se trouvent, par exemple, un chaînon d'argent et un de platine, ayant même diamètre, le platine, qui est moins bon conducteur, s'échauffera beaucoup plus que l'argent.

M. Joule et M. Ed. Becquerel, en faisant passer le fil essayé, entouré en spirale, dans un vase rempli d'eau faisant fonction de calorimètre, sont arrivés aux lois suivantes : « La quantité de chaleur dégagée dans l'unité de temps est proportionnelle au carré de l'intensité du courant; elle varie proportionnellement à la résistance du fil au passage de l'électricité; toutes choses égales d'ailleurs, elle varie en raison inverse de la quatrième puissance du diamètre. » M. Joule a aussi expérimenté divers conducteurs liquides renfermés successivement dans un même serpentin en verre, plongeant dans le calorimètre employé dans l'expérience précédente; les résultats ont été analogues.

M. Pelletier a constaté que, lorsqu'un courant traverse la soudure de deux métaux hydrogènes, il tend à en abaisser la température lorsqu'il a la direction du courant thermo-électrique que produirait l'échauffement de la soudure et vice versa.

Effets lumineux. — Nous avons déjà indiqué les effets de lumière produits par l'incandescence des fils métalliques à travers lesquels on fait passer un courant voltaïque; nous n'y reviendrons pas. On obtient des effets beaucoup plus considérables en faisant communiquer les électrodes avec deux cônes de charbon de coke bien calciné, que l'on met d'abord en contact au moment de la naissance du courant, mais qu'on peut ensuite éloigner l'un de l'autre jusqu'à une distance de 0^m.07. C'est Davy qui, le premier, en 1801, réalisa cette belle expérience; comme il se servait de charbon de bois, qui brûle très vite à l'air, il opérât dans le vide; aujourd'hui qu'on emploie le charbon dur et compact provenant des résidus des cornues à gaz, ou les agglomérés, on peut faire l'expérience dans l'air. Les deux électrodes, en se recomposant dans l'intervalle qui sépare les deux cônes de charbon, ne suivent pas la ligne droite, mais forment un arc lumineux qui a reçu le nom d'ARC VOLTAÏQUE. A la naissance du courant, le charbon négatif devient lumineux le premier, mais c'est ensuite le charbon positif dont l'éclat est le plus intense. En même temps, il y a transport de matière du charbon positif à l'autre. Pour faire usage de la lumière électrique, il faut en régulariser le jet au moyen de mécanismes divers, appelés RÉGULATEURS.

La lumière électrique agit comme celle du soleil sur le chlorure d'argent; elle détermine également la combinaison du chlore avec l'hydrogène, etc. Elle donne lieu, comme la lumière solaire, à un spectre; mais les raies y sont plus nombreuses et plus brillantes; elles changent, d'ailleurs, de place dans le spectre et en même temps d'éclat, suivant la nature des électrodes employées.

Bunsen avait trouvé que la lumière fournie par cinquante de ses couples équivalait à celle que donnent six cents bougies. Foucault, en comparant les effets produits sur l'iodure d'argent par la lumière solaire et par celle d'un arc voltaïque fourni par une pile de cent trente-huit couples Bunsen, a trouvé que l'éclat de la première ne dépassait pas le triple de celui de la seconde.

Effets chimiques. — La pile fournit le moyen le plus énergique que l'on puisse employer pour séparer les éléments des corps composés. La première décomposition obtenue par la pile a été celle de l'eau, en 1800, par Nicholson et Carlisle. Davy décomposa, en 1807 la potasse et la soude, qui étaient regardées jusque-là comme des corps simples, et découvrit ainsi le potassium et le sodium. On sait aujourd'hui préparer ces deux corps par des réactions chimiques; mais le laryte, la strontiane et la chaux n'ont pu encore être décomposés que par la pile. Tous les composés binaires sont décomposés de même; l'un des corps composés se porte au pôle positif, et l'autre au pôle négatif. Chaque corps se porte à l'un ou à l'autre pôle, suivant la nature de celui avec lequel il était combiné. Celui qui se porte au pôle positif est dit électro-positif par rapport à l'autre, qui est électro-négatif par rapport à lui. L'oxygène est cependant toujours électro-négatif, qu'il entre dans un composé basique ou dans un composé acide. L'hydrogène est, de même, électro-négatif dans les hydracides; le potassium est toujours électro-positif.

Les sels ternaires, dissons, sont aussi décomposés par la pile. Lorsque l'acide et la base sont assez stables, l'acide se porte au pôle positif et la base au pôle négatif. Ainsi, les acides sont toujours électro-négatifs dans toutes leurs combinaisons avec les bases. Lorsque l'acide est décomposable par le cou-

rant employé, qui, généralement, doit être d'autant plus fort que le composé est plus simple, son oxygène se porte au pôle positif, son radical se porte au pôle négatif avec la base du sel. Si c'est l'oxyde qui est décomposable, son oxygène se porte au pôle positif; avec l'acide, le radical seul de la base va au pôle négatif. Si l'acide et l'oxyde sont décomposés, le pôle positif reçoit l'oxygène de l'un et de l'autre, les deux radicaux se rendant au pôle négatif. Le plus souvent, la décomposition du sel dissous est accompagnée de celle de l'eau qui le tient en dissolution.

Lorsqu'on plonge dans une dissolution saline un métal plus facilement oxydable que celui qui entre dans la base du sel, celui-ci est précipité et remplace par l'autre.

Lois de Faraday. — Faraday a constaté :

1^o L'identité de l'action chimique d'un courant dans toutes les points de son parcours. Pour cela, il employait plusieurs vases de formes diverses contenant les mêmes dissolutions et réunis les uns aux autres par des arcs métalliques plongeant dans le liquide d'un appareil à l'autre. Les quantités d'électrolytes décomposées en même temps se sont trouvées les mêmes dans tous les appareils.

2^o La proportionnalité de la quantité d'électrolyte décomposée à l'intensité du courant.

3^o Que, si dans un même circuit on range à la suite les uns des autres les appareils contenant des électrolytes différents, les quantités en poids de ces électrolytes, qui sont décomposées en même temps, sont proportionnelles aux poids de leurs équivalents chimiques. Cette dernière loi est extrêmement remarquable.

Grothius, physicien suédois, a donné des phénomènes d'électrolyse une interprétation très simple, que nous ne pouvons passer sous silence. La question à éclaircir était de savoir comment, malgré la distance qui sépare les extrémités des électrodes plongées dans la dissolution, l'échange de molécules des deux corps composants peut se faire dans l'intervalle; comment enfin chacun des corps composants peut être mis seul en liberté à l'un des pôles, bien que le corps composé soit décomposé aux deux points où plongent les électrodes.

Grothius, considérant la file de molécules du corps composé qui s'étend entre les deux électrodes, les suppose orientées de manière que leurs éléments électro-négatifs soient tournés vers le pôle positif et leurs éléments électro-positifs vers le pôle négatif. Dès que le courant passe la séparation a lieu, mais chaque molécule d'hydrogène va se joindre provisoirement à la molécule d'oxygène composant la molécule d'eau qui l'avaisine du côté de l'électro-négatif et réciproquement; de sorte que les deux molécules, d'oxygène et d'hydrogène, qui entrent dans la composition des molécules d'eau extrêmes se trouvent seules mises en liberté.

Polarisation des électrodes.

Les deux électrodes qui ont servi en même temps à opérer une décomposition chimique se trouvent chargées, lorsqu'on les enlève de la dissolution, de petites quantités des deux corps séparés. Ces deux électrodes étant mises aussitôt en communication avec les deux extrémités d'un fil galvanométrique, on constate la naissance d'un courant de sens contraire à celui qui avait produit la décomposition. Ce courant est produit

par la recombinaison du corps décomposé; il cesse aussitôt que les produits de la décomposition électrochimique précédente se sont recombinaison. Deux lames de plomb ayant servi d'électrodes pour la décomposition de l'eau acidulée, enroulées en hélice l'une autour de l'autre et ne se touchant en aucun point, donnent, si l'on vient à les réunir par un fil métallique fin après les avoir enlevées de la dissolution et les avoir séparées de la pile, naissance dans ce fil à un courant qui peut le porter au rouge.

Polarisation de l'électrolyte. — Lorsqu'une décomposition électrochimique a duré quelque temps, on constate aux environs de l'électrode positive la présence à l'état libre d'une petite quantité de l'élément électro-négatif du corps décomposé, et inversement. Si l'on retire brusquement les deux électrodes et qu'on les remplace par des lames n'ayant pas servi depuis quelque temps, il se développe dans l'électrolyte un courant de sens contraire à celui qui avait opéré la décomposition. On peut mettre en évidence l'existence de ce courant en reliant les deux lames aux extrémités du fil galvanométrique.

Modes divers d'arrangement des couples d'une pile.

— Le mode de réunion



Fig. 65.

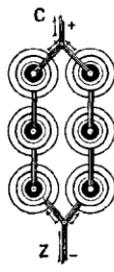


Fig. 66.

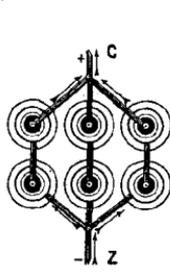


Fig. 70.

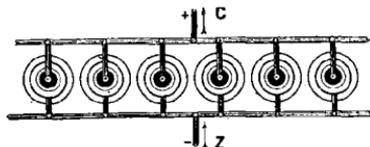


Fig. 71.

des couples dont on dispose n'est pas sans influence sur les effets qu'on peut obtenir de la pile.

Considérons, par exemple, six couples identiques quel qu'en soit d'ailleurs le type; on pourra les grouper (fig. 68 à 71) soit en série ou en tension, soit en quantité ou en surface, soit enfin partie en quantité et en tension (v. ACCOUPLEMENT DES PILES). Dans la fig. 68 ils sont groupés en une seule série, ou

en tension; dans la fig. 69 ils sont groupés par trois en série sur deux en quantité; dans la fig. 70, par deux en série sur trois en quantité; et enfin dans la fig. 71 ils sont disposés tous en surface.

Les considérations suivantes permettent de se rendre compte des cas dans lesquels ces divers modes de montage sont plus avantageux.

Supposons que tous les éléments d'une pile soient montés en série; soient n le nombre de ces éléments, r la résistance et e la force électromotrice d'un élément, I l'intensité du courant de la pile et R la résistance du circuit extérieur.

La force électromotrice du courant fourni par la pile de n éléments, sera ne ; la résistance totale intérieure de cette pile sera nr , et on aura :

$$I = \frac{ne}{nr + R}$$

si R est très petit par rapport à la résistance intérieure nr de la pile, on pourra la négliger et écrire :

$$I = \frac{ne}{nr} = \frac{e}{r}$$

Ainsi on voit que lorsque la résistance du circuit extérieur est très faible on obtient à très peu près le même résultat avec un seul élément qu'avec les n éléments considérés et que, par suite, on a peu d'avantage à monter la pile en série. Dans le cas contraire, c'est-à-dire si R est très grand par rapport à la résistance intérieure nr de la pile, on peut négliger ce dernier terme et écrire :

$$I = \frac{ne}{R}$$

ce qui montre que dans ce cas on a tout avantage à monter la pile en série, c'est le cas ordinaire de la télégraphie.

Supposons maintenant que l'on groupe les éléments en quantité, la force électromotrice de la pile de n éléments est égale à e et sa résistance intérieure à $\frac{r}{n}$.

La formule générale $I = \frac{E}{r + R}$

devient alors :

$$I = \frac{e}{\frac{r}{n} + R}, \text{ ou } I = \frac{ne}{r + nR}$$

Si R est assez petit pour qu'on puisse négliger le terme nR , il vient : $I = \frac{ne}{r}$

ce qui montre que dans ce cas l'intensité est à peu près proportionnelle au nombre des éléments assemblés en quantité; il est dès lors avantageux d'adopter ce mode de montage.

Si R est très grand par rapport à r , c'est alors ce dernier terme qui est négligeable, et la formule devient :

$$I = \frac{ne}{nR}, \text{ d'où } I = \frac{e}{R}$$

ce qui montre que, dans cette hypothèse il est nuisible de monter les éléments en quantité.

En résumé, lorsque la résistance extérieure est très grande par rapport à la résistance intérieure de la pile, on doit disposer les éléments de cette pile en série, et lorsque au contraire, la résistance extérieure est très faible par rapport à la résistance intérieure de la pile, il convient de monter les éléments de cette pile en quantité.

Lorsqu'on a une pile de n éléments identiques, au lieu de monter tous ces éléments en tension on tous en quantité on peut faire des combinaisons ainsi que le montrent les fig. 69 et 70.

Ainsi, soit y le nombre des éléments montés en quantité; on pourra former avec les n éléments de la pile $\frac{n}{y}$ séries semblables.

La force électromotrice totale E sera alors $\frac{n}{y}e$, la résistance intérieure :

$$r' = \frac{r}{y} \times \frac{n}{y}$$

ou

$$r' = \frac{rn}{y^2}$$

Soit toujours R la résistance du circuit extérieur l'intensité I du courant fourni par une pile ainsi disposée sera :

$$(1) \quad I = \frac{\frac{n}{y}e}{R + \frac{rn}{y^2}} = \frac{ny}{Ry^2 + nr}$$

Dans cette équation, la seule variable est y , et valeur à donner à cette variable, pour rendre I maximum est :

$$(2) \quad y = \sqrt{\frac{nr}{R}}$$

d'où :

$$R = \frac{nr}{y^2}$$

Cette valeur de R est précisément égale à la résistance intérieure r' de la pile ($r' = \frac{nr}{y^2}$) trouvée plus haut, ce qui montre que la pile fournit un cours d'intensité maximum lorsque la résistance extérieure du circuit est égale à la résistance intérieure de la pile.

D'où cette règle : On déterminera le nombre y de couples à monter en quantité, en remplaçant dans la formule $y = \sqrt{\frac{nr}{R}}$ le facteur n par le nombre entier qui satisfera le mieux à cette formule.

PILE LOCALE. — Expression employée en TÉLÉGRAPHIE pour désigner une pile placée à côté de l'appareil qu'elle doit actionner et dont le circuit est fermé en temps utile soit par un RELAIS, soit par tout autre appareil auxiliaire, suivant le système télégraphique employé.

PILE SECONDAIRE. — Nom donné aux ACCUMULATEURS.

— *Mémoire.* Ainsi que le fait remarquer M. G. Plan les piles secondaires à éléments petits et nombre donnent des effets physiologiques intéressants pourrions pouvoir avec avantage être employées en thérapie. — Elles seraient d'autant mieux adaptées cet usage qu'elles permettent une graduation plus facile et plus étendue que les piles ordinaires de ce qu'on a appelé les « effets de tension ».

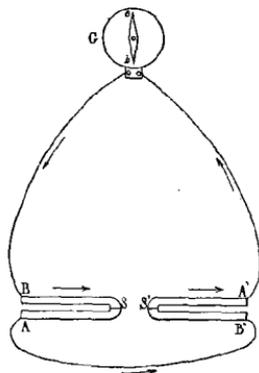
PINCE EXPLORATRICE. — Instrument construit par M. Trounev pour déceler la présence et extraire des corps humains des corps solides métalliques. (V. EXPLORATEUR-EXTRACTEUR.)

PINCE GALVANO-CAUSTIQUE. — Synonyme de ANSE GALVANIQUE. (V. GALVANO-CAUSTIQUE TÉLÉGRAPHIQUE.)

PINCE THERMO-ÉLECTRIQUE. — Pellier est très ingénieusement servi des courants thermo-électriques pour la détermination de la température d'un corps solide.

Il a imaginé à cet effet un instrument appelé PIN

thermo-électrique qui se compose de deux éléments, formés chacun de bismuth et d'antimoine. Le bismuth B de l'un est soudé à l'antimoine A de l'autre par un fil de cuivre; le fil d'un galvanomètre G complète le circuit. Quand tout l'appareil est à la même température, l'aiguille *ab* du galvanomètre est à zéro; mais si l'on interpose entre les deux soudures un



Pince thermo-électrique.

corps dont la température soit supérieure à celle du milieu environnant, les deux soudures s'échauffent, et il se produit un courant qui fait dévier l'aiguille.

Cet appareil a été fréquemment utilisé, notamment par MM. Fraun et Wiedemann dans leurs travaux sur la conductibilité calorifique des corps solides.

PISTOLET DE VOLTA. — Le pistolet de Volta est un vase en fer-blanc, ayant la forme d'une bouteille, dans lequel on opère, au moyen de l'électricité, la combinaison des gaz oxygène et hydrogène, mélangés dans la proportion nécessaire pour former de l'eau. La combinaison produit une détonation assez forte pour faire sauter le bouchon de la bouteille. L'appareil porte sur le côté une tubulure en verre par laquelle passe une tige métallique terminée à ses extrémités par deux boules, l'une extérieure, que l'on approche assez de la machine électrique pour que l'étincelle puisse jaillir, l'autre intérieure et assez voisine de la paroi métallique de la bouteille pour que, par contre-coup, l'étincelle jaillisse aussi à l'intérieur, la bouteille étant tenue à la main.

PISTOLET MAGNÉTIQUE. — Instrument imaginé par Du Moncel pour vérifier les lois des aimants tubulaires. Un cylindre creux de fer doux, muni à ses deux extrémités de rondelles de cuir, est recouvert entièrement d'une bobine magnétisante; un bouchon de fer pouvant glisser librement dans l'intérieur du cylindre est enfoncé à l'une de ses extrémités et y adhère. Si on ferme brusquement à travers cette bobine magnétisante, au moyen d'un interrupteur, le courant d'une pile de huit ou dix couples, le bouchon de fer est projeté à plusieurs mètres de distance comme une balle de pistolet. Cet effet est dû à ce que le bouchon de fer, étant polarisé de la même manière que l'extrémité polaire du tube, se trouve repoussé par celui-ci.

PLAN D'ÉPREUVE. — Appareil construit par Coulomb pour constater la charge électrique des corps en différents points de leur surface, et connaître ainsi la valeur de la densité électrique ou tension.

Il consiste en un petit disque de papier doré fixé à une tige isolante de gomme laque. (V. ÉLECTRICITÉ (Distribution de l'.))

PLAN D'ÉPREUVE (Méthode du). — Méthode de l'aide de laquelle Coulomb a étudié la distribution électrique sur un conducteur. Il a comparé les densités aux divers points de la surface à l'aide du PLAN D'ÉPREUVE et de la BALANCE DE TORSION. (V. ÉLECTRICITÉ (Distribution de l'.))

PLAQUE DE GARDE. — Synonyme d'ANNEAU DE GARDE.

PLAQUE DE TERRE. — Plaque de fer galvanisé ou de cuivre que l'on place à l'extrémité du FIL DE TERRE et que l'on enfonce dans un sol humide.

PLATEAU ÉLECTRIQUE. — Simple plateau de verre ou de gîteau de résine sur lequel on développe l'électricité par le frottement.

PLATINOÏDE. — Nom sous lequel M. F.-W. Martini, de Sheffield, désigne un nouvel alliage dont la résistance électrique, supérieure à celle du maillechort, varie moins que celle de ce dernier métal, lorsque la température change. Le platinoïde est composé de maillechort additionné de 1 à 2 % de tungstène; les constructeurs anglais l'emploient maintenant pour fabriquer les bobines des boîtes de résistances. La résistance spécifique du platinoïde est une fois et demie supérieure à celle du maillechort, laquelle est égale à 21,7 microhms. La variation de résistance par degré centigrade a été trouvée égale à 0,000208 microhms, par M. Bottomley, tandis que celle du maillechort est de 0,00044.

PLATYMÈTRE (du grec *platys*, large, et *metron*, mesure). — Instrument inventé par M. Thomson pour mesurer la CAPACITÉ INDUCTIVE SPÉCIFIQUE DES CONDENSATEURS. Il se compose de deux condensateurs dont les armatures intérieures sont réunies métalliquement et dont les armatures extérieures sont mises en communication avec un ÉLECTROMÈTRE à cadran.

PLOMB DE SURETÉ. — Dans les installations d'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE, il est arrivé souvent que les fils de distribution du courant se sont échauffés au point de carboniser leur enveloppe isolante et les matières combustibles placées en contact immédiat. Dans une communication faite à la Société des Ingénieurs télégraphistes de Londres, en 1887, M. A.-C. Cockburn a indiqué le moyen pratique de prévenir tout accident de ce genre. « Il suffit, dit-il, pour parer à tout accident imputable ou non à la malveillance, de placer de distance en distance, sur les conducteurs, des **plombs de sûreté** qui fondent dès que l'intensité du courant dépasse celle du régime normal : le circuit est ainsi rompu, et l'extinction des appareils indique immédiatement l'existence d'un défaut et le point où ce défaut existe. Ainsi le plomb de sûreté doit fondre avant d'être porté au rouge; il doit être placé dans une enveloppe incombustible, dans un endroit bien apparent. Ce plomb doit fondre pour une intensité de courant exactement définie, par exemple, pour un écart de 5 % au-dessus du maximum correspondant au diamètre des conducteurs.

Il doit être en métal inoxydable, et ne pas se trouver en contact avec les parois de la boîte où il est logé ; cette boîte doit, bien entendu, être en matière incombustible. Pour chaque plomb fusible il convient d'avoir un support spécial sur lequel le plomb sera fixé par une soudure, d'éviter tout changement brusque de direction des conducteurs au voisinage du plomb, et de fermer la boîte sur le devant par une plaque de verre ou de mica afin de faciliter le contrôle. M. Cockburn conseille d'employer comme métal fusible l'étain connu en Angleterre sous le nom de *phosphor-tin* parce que les fils de ce métal se rompent avant d'avoir atteint la température du rouge et ne s'oxydent pas.

PLOT. — On désigne sous le nom de plots ou gouttes de suif les pièces métalliques sur lesquelles viennent frotter les lames de cuivre recourbées faisant fonction de ressort dans les **COMMULATEURS** à manivelle. On désigne aussi sous le nom de plots les pièces métalliques placées très près les unes des autres et entaillées de gorges demi-cylindriques qui constituent les commutateurs à cheville.

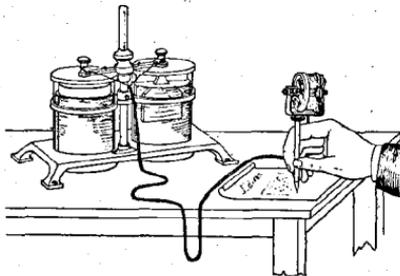
Plücker (Jules), physicien allemand, né le 16 juillet 1801 à Elberfeld, mort à Bonn le 22 mai 1868. Après avoir terminé ses études à l'université

de Bonn, en 1833, il fut appelé à la chaire de mathématiques au gymnase Frédéric-Guillaume, à Berlin en 1834, puis, en la même qualité, à l'université Halle en 1836, et enfin devint professeur de mathématiques et de physique à l'université de Bonn.

Outre de nombreux mémoires de mathématique et de physique insérés dans les *Gergonne's Annales* dans le *Liouville's Journal*, le *Crelle's Journal*, dans les *Annales de Poggendorf*, on lui doit d'importants travaux sur le magnétisme.

PLUIE DE FEU. — Nom donné par Du Monce une expérience curieuse d'électricité statique : si l'on place deux lames de verre séparées par des caoutchouc entre deux feuilles d'étain commun quant avec les pôles d'une machine d'induction et l'on vient à décharger l'appareil, on obtient une véritable pluie de feu. Si on place ensuite un carton découpé entre les deux lames de verre, et si l'on passe la décharge et si on vient ensuite à souffler les lames de verre, la bûche qui accompagne toujours la soufflerie trace sur les lames l'image de la découpe. Cette expérience a été mise à profit par M. le Dr Babinet de Paris, pour imprimer des dessins sur bois sur toile. (V. IMPRESSION PAR L'ÉLECTRICITÉ.)

PLUME ÉLECTRIQUE. — Appareil imaginé par M. Edison, et composé essentiellement d'un tu



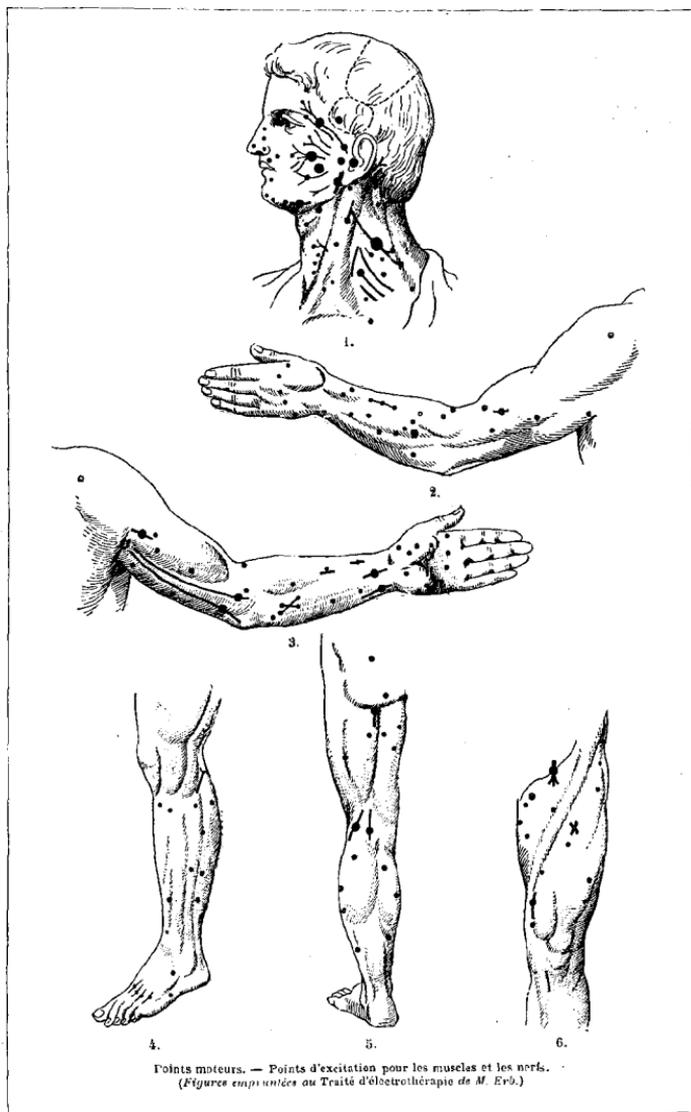
Plume électrique de M. Edison.

métallique de la dimension d'un porte-plume ordinaire, dans l'intérieur duquel se trouve une tige d'acier terminée en pointe aiguë. Cette pointe sort par l'une des extrémités du tube, tandis qu'à l'autre extrémité se trouve un petit ressort électrique qui donne un mouvement très rapide de va-et-vient à la tige d'acier (les oscillations atteignent le chiffre de 140 à 150 par minute). En écrivant avec la pointe sur un papier imperméable, de préparation spéciale, on obtient des caractères formés non par un trait, mais par une succession de trous, de sorte qu'on peut, à l'aide de cette sorte de cliché, tirer à l'encre d'imprimerie une série d'épreuves. Il suffit, en effet, de l'appliquer sur une feuille de papier ordinaire et de passer un rouleau imbibé d'encre ; l'encre, filtrant à travers les trous, reproduit le tracé de la plume.

PLUVIOGRAPHE. — Pluviomètre enregistreur. (V. ENREGISTREURS MÉTÉOROLOGIQUES.)

Poggendorf (Jean-Christien), physicien allemand, né à Hambourg en 1798, mort le 8 février 1877. Fils d'un négociant qui perdit toute sa fortune dans les désastres de 1813 et de 1814, il était destiné lui-

même à la carrière commerciale ; mais il préféra suivre son goût pour les sciences naturelles, étudia la pharmacie, la chimie et la physique, et alla, en 1820, grossir le nombre des étudiants de l'université de Leipzig. Dès l'année suivante, il publia dans le recueil scientifique son premier travail, une savante dissertation sur le *Magnétisme de la pile de Volta*. En 1824, il succéda à Gilbert comme rédacteur en chef des *Annales de Physique et de Chimie*, importante publication dans laquelle il a inséré de nombreux articles et mémoires. En 1834, il devint professeur de physique à l'université de Berlin et, en 1838, membre de l'Académie des Sciences. Ce savant s'est particulièrement occupé d'électricité, de magnétisme et de galvanisme. On lui doit une méthode pour déterminer les COURANTS qui correspondent à des déviations de l'aiguille d'un ÉLECTROMÈTRE ; d'importants travaux sur la mesure exacte de la force des piles non constantes, sur la POLARISATION galvanique, etc., et l'invention de divers instruments de physique, tels que le GALVANOMÈTRE, etc. On a de lui *Équipes pour servir à l'histoire des sciences exactes* (Berlin, 1853) ; *Vocabulaire biographique et bibliographique pour l'histoire des sciences exactes*.



(Berlin, 1858-1864). Enfin il a collaboré au *Dictionnaire de Chimie* de Liebig et Wöhler.

POINT CONSÉQUENT. — Centre d'attraction ou pôle intermédiaire qui se manifeste dans les aimants naturels ou dans les barreaux mal aimantés. Ces points sont séparés les uns des autres par des régions inactives.

POINT D'ÉLECTION. — Point où il convient d'appliquer une électrode pour exciter un nerf ou un muscle déterminé à l'avance : expression employée par le Dr Duchenne, de Boulogne.

POINT D'INFLEXION. — Wiedemann et H. Becquerel désignent ainsi des points de la courbe représentative de la quantité de magnétisme développé dans un barreau soumis à une influence magnétisante; ces points correspondent au maximum du rapport de l'intensité magnétisante au magnétisme développé.

POINT MOTEUR. — Méd. Duchenne (de Boulogne), en créant l'ÉLECTRISATION LOCALISÉE, avait trouvé le moyen de faire porter l'excitation électrique sur les différents muscles, de façon à en obtenir la contraction isolée. Il s'en servit pour étudier sur le vivant la physiologie des mouvements. Mais, s'il avait acquis personnellement une admirable habileté dans ce genre de recherches, il avait négligé de formuler les préceptes qui le guidaient et sans lesquels les autres observateurs ne pouvaient reproduire ses expériences. Le mérite d'avoir comblé cette lacune revient au médecin allemand Ziemssen. Par des essais multipliés, en employant la méthode POLAIRE et en contrôlant ses résultats par des dissections, cet auteur parvint à établir des règles générales qui peuvent se résumer ainsi : le point de la peau où doit être placée l'ÉLECTRODE pour provoquer la contraction isolée d'un muscle répond à l'entrée dans ce muscle de son principal rameau moteur. Habituellement, pour les muscles longs cette entrée a lieu au niveau de l'union du tiers supérieur avec les deux tiers inférieurs. Les points de la peau correspondants se nomment *points d'excitation* ou *points moteurs*. Ces dispositions sont assez constantes pour que Ziemssen ait pu dessiner des figures schématiques donnant la situation de tous les points moteurs. Grâce à ces indications, beaucoup de tâtonnements pénibles pour les malades sont évités. La connaissance exacte de ces points est indispensable à qui veut s'occuper d'ÉLECTROTHERAPIE. Les notions d'anatomie les plus précises ne suffisent pas, parce que la relation indiquée plus haut n'est vraie que très approximativement. Ces points sont fort nombreux. Cela se comprend, si l'on pense au nombre des muscles accessibles au courant, sans compter que souvent il existe plusieurs points moteurs pour un seul muscle. Pour certains, tels que le deltoïde et le grand dentelé, le point se trouve dans une région autre que celle occupée par le muscle. La face, le cou et l'avant-bras sont particulièrement riches en points moteurs. Nous donnons, page 651, quelques figures empruntées au *Traité d'Électrothérapie* de M. Erbet et représentant l'ensemble des points d'excitation pour les muscles et les nerfs. Pour la désignation de chacun d'eux nous devons renvoyer aux ouvrages spéciaux.

POINT NEUTRE. — Point d'un aimant où ne se manifeste ni attraction ni répulsion.

POINTES (Pouvoir des). — Propriété que possèdent les conducteurs terminés en pointe de laisser

échapper l'électricité. (V. ÉLECTRICITÉ [Distribution de l].)

POINTEUR ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE. — M. Noë imagina un dispositif permettant de déterminer exactement la durée physiologique des réflexes lendeux exposés les membres supérieurs et pelviens, et aussi d'établir dans quelles limites, fort étroites d'ailleurs, elle peut varier. L'appareil se compose d'un cadran divisé en 100 parties assez larges pour qu'il soit possible de li aisément 1/10 de division. Une aiguille parcourt en une seconde la circonférence du cadran, d'un mouvement bien uniforme, emprunté à un régulateur. A cette aiguille est fixé un manchon dont chaque extrémité porte un cône creux pouvant être amené soit au contact d'un cône de friction fixé à l'arbre moteur, soit au contact d'un deuxième cône fixé à la platine et il mobile. Le double mouvement nécessaire à la mise en marche ou à l'arrêt de l'aiguille est obtenu par un moyen d'une armature de fer doux oscillant entre deux ÉLECTRO-AIMANTS Hughes dont les pôles de ne contraire sont en regard; les quatre bobines qui garnissent ces électros font partie du même circuit, l'enroulement est tel, qu'un courant de sens déterminé pour effet d'accroître la polarité de l'un des aimants diminue celle de l'autre. L'équilibre est interrompu et l'armature vient s'appliquer sur l'un des électros auquel elle reste adhérente jusqu'à un moment où un courant inverse amène une oscillation de sens opposé. Les mêmes forces étant mises en jeu pour le départ et l'arrêt de l'aiguille, les erreurs proviennent de l'inertie du système se compensent, l'écart angulaire de l'aiguille entre sa position initiale et ce qu'elle occupe à la fin du phénomène exprime exactement le temps écoulé entre le passage du court dans un sens, puis en sens opposé. Le manuel opératoire se trouve réduit à ceci : un récepteur myographique spécial étant mis en relation avec le muscle qu'on explore, on perceute le tendon avec un conjointeur qui met en marche l'aiguille en fermant un premier circuit; le début de la contraction amène simultanément l'ouverture du premier circuit et la fermeture d'un courant de sens inverse qui arrête l'aiguille celle-ci étant au zéro du cadran, si l'on répète dix fois de suite la même manœuvre, le chiffre sur lequel s'arrête définitivement, divisé par 10, indique en millèmes de seconde la durée moyenne du phénomène (*Académie des Sciences, année 1881.*)

Poisson (Siméon-Denis), géomètre et analyste distingué, né à Pithiviers en 1781, mort en 1842, montra dès sa première jeunesse de brillantes aptitudes. Il entra à l'École polytechnique, le premier la promotion de 1798, et s'y fit complètement remarquer de Lagrange et de Laplace. Un jour, en descendant interrogeant un élève sur un point de la mécanique céleste on obtint une réponse où la question était traitée d'une manière élégante et nouvelle. Étonné, le professeur demanda au jeune homme si cette démonstration est de lui. « Non, répond-il; je la tiens de Poisson. » De cet instant date le profond intérêt que Laplace témoigna constamment à celui qui devait être son successeur. Lagrange professa alors à l'École sa théorie des fonctions analytiques, et presque chaque jour Poisson lui communiquait sur la façon précédente des observations ou des projets de modifications que l'illustre professeur accueillait toujours avec bienveillance et avait souvent l'occasion d'approuver. Sa réputation s'étendait même au dehors et lui ouvrit les salons de Ducloux, de Gérard, de Destutt de Tracy de Cabanis et de La Fayette.

Poisson annonçait de grandes dispositions pour l'

recherches abstraites, mais ne paraissait pouvoir faire qu'un médiocre ingénieur; le conseil de l'École le dispensa en conséquence de tout travail graphique, comptant l'associer bientôt à l'enseignement.

La haute réputation qu'il avait acquise à l'École lui ouvrit les services publics sans qu'il eût à subir d'examen. Nommé répétiteur d'analyse, puis professeur suppléant et enfin titulaire en 1806, en remplacement du célèbre Fourier, il commença, par ses cours et ses savants mémoires (dans le *Journal de l'École polytechnique*), à jeter les fondements de sa renommée scientifique. Il fut bientôt appelé au Bureau des longitudes, à l'Institut (1812), à la Faculté des Sciences, comme professeur de mécanique (1816), enfin au conseil royal de l'Université (1830), où il prit la haute direction de l'enseignement des mathématiques dans tous les collèges de France. En 1831, il fut élevé à la pairie. Poisson s'est principalement occupé de physique mathématique et de mécanique rationnelle; mais ses travaux sur l'invariabilité des grands axes des planètes, sur la distribution de l'électricité à la surface des corps, sur les phénomènes capillaires, sur la théorie mathématique de la chaleur, etc., ont indirectement apporté des perfectionnements notables à l'analyse proprement dite. Outre de nombreux mémoires, on a de lui une série d'ouvrages classiques, parmi lesquels il faut citer son *Traité de Mécanique* (1814) réédité en 1832 avec des additions considérables et sa *Théorie du Calcul des probabilités*. Son Éloge a été fait par Arago. La ville de Pithiviers lui a érigé une statue en 1851.

POISSON (Théorème ou Formule de). — La somme des trois dérivées secondes partielles du POTENTIEL en un point est égale à la DENSITÉ ÉLECTRIQUE au point considéré multipliée par -4π . (V. la démonstration de ce théorème au mot POTENTIEL.)

POISSON ÉLECTRIQUE. — Poisson doué de la propriété de donner des secousses électriques quand on le touche avec la main. Il existe un assez grand nombre de poissons de cette nature. Les plus anciennement connus, et chez lesquels la structure de l'organe électrique a fait l'objet de nombreuses études, sont : les torpilles, les raies, le gymnote et le malpétrure (sifture électrique).

Ces poissons ont un organe désigné sous le nom de « appareil ÉLECTROGÈNE ». L'organe électrique des poissons électriques n'est pas placé chez tous dans la même partie du corps.

Nous citerons parmi les poissons électriques ceux précédemment nommés : le *mormyre*, le *gymnarque*, le *trichurie électrique de l'Inde*, le *tétrodon électrique* (genre des Plecognathes), qui a été rencontré aux îles Comores, le *purargue de Margrave* (*rhinobatus electricus*).

POLAIRE (Méthode). — *Méd.* On donne ce nom, en ÉLECTROTHERAPIE et en électro-physiologie, à une disposition des ÉLECTRODES qui permet d'étudier séparément l'action d'un seul pôle sur un point donné. Pour arriver à ce résultat, on donne aux électrodes des dimensions très inégales. L'une très large, par exemple, de 10 centimètres de diamètre et plus, est appliquée sur une région peu excitable, telle que la partie antérieure de la poitrine, le dos ou une autre, suivant les circonstances. Les Allemands l'appellent *électrode inefficace*. L'autre beaucoup plus petite, de 1 à 3 centimètres de diamètre, est appliquée, aussi près que possible de l'organe sur lequel on veut agir. C'est l'*électrode efficace* des Allemands. Elle serait mieux nommée *excitatrice ou active*. En considérant que le courant agit en raison de sa densité, on com-

prend l'effet de cette disposition, car la densité est beaucoup plus grande au voisinage immédiat de la petite électrode. A l'autre électrode, l'action du courant s'exerçant sur une surface beaucoup plus large et dans une région peu excitable, peut être négligée; d'où le nom de *méthode polaire* (ou unipolaire). Cette méthode a été introduite d'abord en physiologie par Chauveau, puis en thérapeutique par Brener. Elle est indispensable pour l'électro-diagnostic, et en thérapeutique même elle évite la confusion et les illusions inséparables de l'emploi des courants dits *ascendants* et *descendants* (suivant leur direction supposée par rapport aux trajets nerveux), procédé suranné que recommandent encore quelques auteurs.

Il ne faudrait pas croire, du reste, que dans la disposition polaire on n'a réellement affaire qu'à un seul pôle. Cela ne pourrait être vrai que pour le point d'entrée du courant, dans le sens le plus strict. (V. VIRTUEL [Pôle].)

POLARISATION DES BOBINES DE RÉSISTANCE. — Les bobines de résistances employées pour effectuer des mesures continuent à émettre un courant lors même que la source extérieure de ce courant a cessé. M. Mendenhall, qui a signalé ce phénomène en 1887, l'attribue à une charge statique. Il pense que la déviation obtenue au moyen de la bobine dans laquelle le courant a passé est due à une charge résiduelle. Suivant d'autres physiciens, le phénomène serait pour cause l'échauffement produit à la jonction du fil de la bobine avec des parties formées d'un autre métal, ce qui produirait un COURANT THERMO-ÉLECTRIQUE. Enfin, M. Thomas, de Colombus (Ohio), attribue le fait à l'action électrolytique due à la condensation de l'humidité dans les bobines.

POLARISATION D'UN DIÉLECTRIQUE. — (V. ÉLECTRISATION OU ABSORPTION ÉLECTRIQUE.)

POLARISATION DES ÉLECTRODES. — (V. FILLES [Effets des].)

POLARISATION DE L'ÉLECTROLYTE. — (V. FILLES [Effets des].)

POLARISATION DE LA LUMIÈRE (Rotation magnétique du plan de). — *Définitions.* — Nous reproduisons ci-après un passage du livre de M. Gordon, *Traité expérimental d'Électricité et de Magnétisme*, où se trouvent définis d'une façon très claire les phénomènes de polarisation de la lumière :

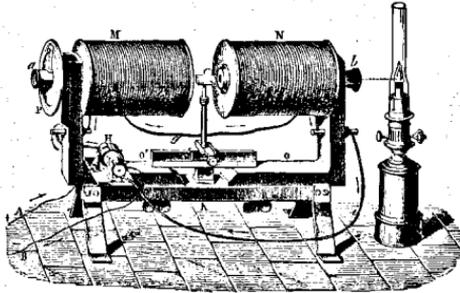
« La lumière naturelle consiste en vibrations toujours situées dans un plan perpendiculaire à la direction du rayon lumineux, mais s'exécutant dans toutes les directions contenues dans ce plan. En d'autres termes, si le rayon se propage suivant l'essieu d'une roue, les vibrations qui le composent sont toutes dans le plan de la roue, mais s'exécutent indifféremment suivant l'un ou l'autre des rais de la roue. Lorsque la lumière se réfléchit sur certaines substances, sous certains angles, ou lorsqu'elle traverse certaines substances cristallines, toutes les vibrations sont ramenées dans la même direction, c'est-à-dire suivant un rai déterminé de la roue et le rai opposé. On dit alors que la lumière est *polarisée*. Si maintenant la roue glisse le long de l'essieu sans tourner, le rai suivant lequel s'exécutent les vibrations décrit un plan. Lorsqu'aucune force de rotation n'est appliquée à la lumière polarisée, les vibrations s'exécutent toutes dans ce plan, que l'on appelle *plan de polarisation*, et on dit que la lumière est *polarisée dans un plan*. Si nous faisons tourner le réflecteur ou le cristal qui sert de

polariseur autour de la direction du rayon comme axe, ce plan tournera comme si nous faisons tourner sur son essieu la roue, et, par suite, le ray suivant lequel s'exécutent les vibrations; en faisant glisser la roue le long de son essieu, le ray décrira toujours un plan, seulement ce plan ne sera plus le même qu'auparavant. Ainsi, si nous faisons tourner le miroir ou le cristal polariseur, le plan de polarisation tourne, mais la lumière reste polarisée. Nous ne pouvons reconnaître à l'œil dans quel plan la lumière est polarisée, ni même si elle est ou non polarisée. Pour cette étude, il faut appliquer la loi naturelle suivante : les corps transparents susceptibles de polariser la lumière dans un plan donné sont opaques à la lumière déjà polarisée perpendiculairement à ce plan; les surfaces réfléchissantes susceptibles de polariser la lumière dans un plan donné ne réfléchissent plus la lumière incidente déjà polarisée dans un plan perpendiculaire à ce plan. Ainsi, pour déterminer dans quel plan la lumière est polarisée, on n'a qu'à prendre un cristal sus-

ceptible de polariser la lumière dans un plan fixe rapporté à son axe et à le faire tourner jusqu'à ce que la lumière soit éteinte. On suit alors que la lumière est polarisée dans un plan perpendiculaire à ce plan fixe du cristal. »

Rotation naturelle. — Certaines substances (absence de térébenthine, créosote, etc.) ont la propriété de faire tourner le plan de polarisation; autrement dit, si un rayon horizontal de lumière polarisée dans un plan horizontal traverse un tube plein d'une de ces substances, le plan de polarisation à la sortie ne sera plus horizontal, mais bien incliné d'un angle qui dépend de l'autre de l'horizontale, suivant la nature de la substance. Cette inclination dépend aussi de la longueur de la colonne traversée par le rayon lumineux.

Rotation magnétique. — Faraday a constaté que le verre d'une sorte particulière (appelé *verre pesant*), étant placé entre les pôles d'un électroaimant, il y a rotation du plan de polarisation le



Rotation magnétique. (Appareil de Faraday.)

qu'on fait traverser le verre d'un pôle à l'autre par un rayon de lumière polarisée, et que la direction de l'inclinaison du plan de polarisation dépend de la polarité de l'aimant. On a reconnu ensuite que bien d'autres substances produisent le même effet lorsqu'elles sont soumises à l'action magnétique. Au premier abord, le phénomène magnétique paraît analogue à celui de la rotation par l'essence de térébenthine; mais, en réalité, il y a entre eux une différence importante.

Faraday a communiqué sa découverte à la Société royale, le 6 novembre 1845, dans un mémoire intitulé : *De la magnétisation de la lumière et de l'éclaircissement des lignes de force magnétique; 1^o action des aimants sur la lumière; 2^o action des courants électriques sur la lumière; 3^o considérations générales.*

Faraday a réussi à magnétiser et à éclaircir une ligne de force magnétique (ce sont ses propres expressions). Il se servait de l'appareil représenté ci-dessus, composé d'un bâti en fer doux K sur lequel sont montés à glissière les deux branches O et O' d'un électro-aimant puissant M et N. Les noyaux des bobines sont des tubes épais de fer doux, dont on peut changer à volonté les extrémités afin de pouvoir étudier l'influence du champ magnétique sur des corps de différentes formes et de différentes natures. Ces corps sont, suivant les cas, suspendus entre les extrémités en regard des noyaux ou supportés, comme dans le cas

de la figure, par un pied à coulisse muni à sa base d'un vernier permettant de déterminer la distance exacte du corps que l'on étudie aux pôles de l'électroaimant. Une roue à vernier P, munie d'un oculaire dans lequel se trouve un prisme analyseur, sert à étudier les phénomènes de lumière polarisée par l'effet du champ magnétique. L'appareil comprend comme accessoires une lampe et un commutateur-inverseur de Ruhmkorff H. Le courant arrive par le fil A, traverse le commutateur H, passe par les bornes M et N et revient à la source d'électricité par le fil B.

Dans ces conditions, une substance transparente quelconque mise entre les deux pôles de l'électroaimant sera traversée à la fois et dans la même direction par le rayon polarisé et les lignes de force magnétique.

A l'aide de cet appareil, Faraday a pu constater l'existence du pouvoir rotatoire du verre pesant, et a reconnu que ce pouvoir rotatoire augmentait à l'intensité des lignes de force magnétique et paraissait être proportionnel à l'intensité de force magnétique que d'autres substances que le verre pesant possèdent la même propriété d'agir sur la lumière, et l'influence de la force magnétique, et que si ces substances ont un pouvoir rotatoire propre (comme l'essence de térébenthine, le sucre, l'acide tartarique les tartrates, etc.), l'effet de la force magnétique s'ajoute à ce pouvoir spécifique ou s'en retranche, suivi

que la rotation naturelle et celle induite par le magnétisme sont vers la droite ou vers la gauche. Enfin il remarqua qu'il ne se produit aucun changement dans ce pouvoir quand on communique un mouvement quelconque au diamagnétique pendant qu'il est soumis à l'action simultanée de la lumière et du magnétisme. La rotation s'effectue progressivement.

Le phénomène se manifesta, à un degré plus ou moins considérable, dans tous les liquides qu'il essaya; il n'obtint aucun effet avec les gaz. Enfin, Faraday constata que l'action d'un courant électrique est la même que celle de son aimant équivalent ou que, si une substance ayant un pouvoir rotatoire magnétique est placée à l'intérieur d'une hélice, un rayon de lumière qui traverse cette substance le long de l'hélice éprouve une rotation quand le courant passe; le sens de la rotation dépend de celui du courant. Ainsi donc Faraday a, le premier, établi une relation et une dépendance directes entre la lumière et les forces magnétiques et électriques, ce qui prouve une fois de plus que toutes les forces naturelles sont liées les unes aux autres et ont une commune origine. (V. CONSÉQUENCES DES FORCES PHYSIQUES.)

La question fut étudiée ensuite par plusieurs savants :

M. Ed. Becquerel établit, en 1846, que la rotation magnétique des rayons lumineux de diverses couleurs traversant un milieu diamagnétique se fait approximativement en raison inverse du carré de la longueur d'onde, et signala les propriétés curieuses des dissolutions de sels de fer.

En 1831, M. Wiedemann constata que lorsqu'on soumettait des liquides à l'action directe des courants électriques circulant dans une hélice, la rotation du plan de polarisation était proportionnelle à l'intensité du courant.

MM. Berlin, Matteucci, Edlund, Wertheim et de la Rive ont publié aussi des travaux remarquables sur ces phénomènes, dans les *Annales de Chimie et de Physique* (t. XV, XXII, XXIII, XXVIII, XL).

En 1852, Verdet effectua des mesures quantitatives par l'emploi de forces magnétiques puissantes (v. *Œuvres de Verdet*, publiées par M. Masson en 1872.) De ses premières expériences il déduisit la loi suivante :

La rotation du plan de polarisation est proportionnelle à la force de l'action magnétique.

Des expériences ultérieures lui permirent d'énoncer cette autre loi :

Pour la même intensité magnétique, la rotation est proportionnelle à l'épaisseur du verre traversé par la lumière.

Il étudia ensuite l'effet de l'inclinaison de la lumière sur la direction de la force magnétique, et il trouva que :

La rotation produite par une intensité de champ magnétique donnée est simplement proportionnelle au cosinus de l'angle compris entre la direction du rayon de lumière et la direction de la ligne de force magnétique.

Les trois propositions précédentes ont été réunies dans une loi générale ainsi formulée :

Pour un milieu et une couleur donnés, la rotation du plan de polarisation, entre deux points quelconques de la trajectoire du rayon, est proportionnelle à la différence du potentiel magnétique en ces deux points.

En effet, la différence de potentiel en deux points d'une substance magnétique est proportionnelle à l'intensité d'aimantation de la substance, au cosinus de l'angle compris entre la direction d'aimantation et

la ligne joignant les deux points, et enfin à la distance des deux points.

Clerk Maxwell a résumé les travaux de Faraday et de Verdet dans son ouvrage intitulé *Electricity*. M. Gordon a fait, sous la direction de Maxwell, de nombreuses expériences, décrites dans son *Traité expérimental d'Électricité et de Magnétisme*, traduit et annoté par M. J. Raynaud.

Effet du magnétisme terrestre sur la lumière. — M. H. Becquerel a mesuré expérimentalement la rotation magnétique produite dans un tube plein de sulfure de carbone sous l'influence du magnétisme terrestre.

Signalons enfin les travaux de M. H. Becquerel sur l'effet du magnétisme terrestre sur la lumière (*Académie des Sciences*, 10 juillet 1876). Son mémoire est intitulé : *Recherches expérimentales sur la polarisation rotatoire magnétique*. Il a comparé les pouvoirs rotatoires magnétiques de différentes substances à celui du sulfure de carbone pris pour unité. Ses expériences étaient faites avec la lumière jaune ou la lumière rouge, suivant la couleur des substances employées, et il trouva que le rapport des rotations magnétiques de deux substances n'est pas constant, quelle que soit la longueur d'onde des rayons lumineux étudiés; il a montré que pour les mêmes groupes de substances on a la relation suivante :

$$\frac{R}{\mu^2(\mu^2 - 1)} = \text{constante},$$

R étant le pouvoir rotatoire magnétique et μ l'indice de réfraction. Mais cette constante a des valeurs différentes pour les différents groupes de substances. M. Becquerel a trouvé aussi que les rotations magnétiques des différentes radiations, pour une même substance, sont liées par l'expression :

$$\frac{R\lambda^2}{\mu^2(\mu^2 - 1)} = \text{constante},$$

dans laquelle R représente toujours le pouvoir rotatoire magnétique, μ les indices de réfraction et λ les longueurs d'ondes des divers radiations.

Enfin, en 1879, M. H. Becquerel annonça à l'Académie des Sciences (31 mars 1879) qu'il était parvenu à manifester et à mesurer la rotation magnétique du plan de polarisation de la lumière avec divers gaz à la température et à la pression ordinaires. Il opéra sur l'oxygène, l'azote, l'acide carbonique, le protoxyde d'azote, l'acide sulfureux et le gaz oléifiant, et il formula la loi suivante :

Pour les gaz cités ci-dessus, à l'exception de l'oxygène, les rotations magnétiques des plans de polarisation des rayons de diverses longueurs d'ondes sont positives et à très peu près en raison inverse du carré des longueurs d'ondes.

En comparant les nombres obtenus on trouve que les rotations magnétiques des gaz croissent très régulièrement avec les indices de réfraction.

À la même époque (mai 1879), MM. Kundt et Röntgen annoncèrent à l'Académie de Munich qu'ils avaient mesuré les pouvoirs rotatoires magnétiques de différents gaz à la pression de 250 atmosphères; ces savants ont trouvé que l'air atmosphérique, l'oxygène, l'azote, l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, le gaz d'éclairage, l'éthylène et le gaz des marais dévièrent tous le plan de polarisation dans le sens du courant magnétisant, c'est-à-dire que leur rotation se fait dans le même sens que celle du sulfure de carbone et de l'eau; que, dans les mêmes conditions, la gran-

deur de la rotation varie beaucoup avec les différents gaz; que, pour un gaz quelconque et dans les mêmes circonstances, la rotation est proportionnelle à la densité.

M. H. Becquerel a annoncé à l'Académie des Sciences, le 17 novembre 1879, qu'il avait observé une rotation causée par l'action du magnétisme terrestre sur l'atmosphère. En supposant que cette rotation soit due à une influence magnétique, elle ne doit pas exister dans une direction perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison; l'expérience a montré, en effet, que dans une région perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison la rotation était sensiblement nulle.

En résumé, l'explication des phénomènes de rotation magnétique de la lumière polarisée est encore fort obscure; pour élucider complètement ce phénomène il faudrait avoir des notions plus étendues que celles que l'on possède actuellement sur la nature de la lumière et de l'électricité. Cependant Maxwell a donné une explication provisoire dans son ouvrage intitulé *Electricity*. (Voir Gordon, *Traité expérimental d'Electricité et de Magnétisme*, traduit et annoté par J. Raynaud.)

En 1856, M. Köndt a publié dans les *Annales de Wiedemann* des recherches sur la rotation électromagnétique du plan de polarisation de la lumière dans des lames minces de fer, nickel et cobalt. Il a fait aussi des expériences sur les sels de ces métaux et il est arrivé aux conclusions suivantes :

Tous les corps simples étudiés jusqu'à présent, qu'ils soient fortement magnétiques ou diamagnétiques, ont un pouvoir rotatoire électro-magnétique positif; les combinaisons chimiques seules ont une rotation négative.

POLARISATION MOLÉCULAIRE MAGNÉTIQUE.

— Orientation des particules de fer divisé libres de se mouvoir dans un CHAMP MAGNÉTIQUE; leur direction se désigne sous le nom d'axe de polarisation.

POLARISATION DES PILES. — On désigne ainsi le phénomène d'affaiblissement de l'intensité du courant fourni par une pile au bout d'un certain temps de fonctionnement continu. Il est facile de se rendre compte de la cause de ce phénomène : en considérant, par exemple, une pile composée d'un vase de verre contenant de l'eau acidulée sulfurique et dans lequel plongent une lame de cuivre et une lame de zinc, lorsqu'on réunit métalliquement les deux électrodes, il se produit un courant dû à la décomposition chimique qui s'effectue. L'eau acidulée attaque le zinc; il se dégage de l'oxygène qui se combine avec ce métal et l'acide sulfurique pour former du sulfate de zinc, et de l'hydrogène qui est mis en liberté. Cet hydrogène se porte sur la lame de zinc, empêche ainsi son contact immédiat avec le liquide acide et augmente, par suite, la résistance opposée par le conducteur au passage du courant. De plus, l'hydrogène constitue, avec l'oxygène dégagé sur l'électrode négative, une sorte de FILE à GAZ qui développe un courant électrique de sens inverse du premier. Il résulte de là que, pour diminuer la polarisation, on doit chercher à absorber l'hydrogène au fur et à mesure de sa production; on y arrive en faisant intervenir un quatrième corps qui se combine facilement avec l'hydrogène en formant de l'eau. Tel est le principe sur lequel sont basées les piles à deux liquides (piles Daniell, Callaud, Bunsen, Marié-Davy, etc.), les piles à oxydes (piles Leclanché, etc.) et les piles à mélanges dépolarisants (piles au bichromate de potasse, etc.). (V. PILES.)

On peut se rendre compte plus facilement du phé-

nomène de la polarisation. Il suffit de remarquer, en effet, que la force électromotrice d'une pile dépend de la nature des diverses substances en contact sur ce cas. Il en résulte que si, par suite du fonctionnement de la pile, ces substances viennent à être altérées, la force électromotrice devra nécessairement varier.

POLARISATION DES TISSUS. — *Méd.* On a supposé l'existence de ce phénomène dans la galvanisation thérapeutique et on s'en est servi pour expliquer une partie de ses effets. Il est très vrai que lorsqu'on a fait passer un courant à travers une partie du corps et qu'on renverse sa direction, le GALVANOMÈTRE ne cause une augmentation temporaire d'intensité. De ce fait et de quelques autres analogues quelques médecins avaient conclu à une polarisation énergetique de tissus vivants, et ils faisaient jouer un rôle thérapeutique essentiel au courant inverse qui succédait, selon eux, à toute galvanisation. M. R. Vigouroux a fait sur cette question des expériences démonstratives. Le siège principal, sinon unique, de la polarisation est dans les électrodes elles-mêmes, quelle que soit leur nature. Quant au prétendu courant de décharge fourni par les tissus, il ne peut être mis en évidence par un électromètre de Lippmann, que si on le recueille au moyen d'électrodes neuves. Ce qui autorise M. Dr Vigouroux à dire que, si le courant de polarisation des tissus existe, il ne peut pas être d'une force électromotrice supérieure à 1/10000 de volt; résultat qui n'a rien de surprenant, si l'on tient compte du mouvement continu des liquides dans l'organisme.

POLARITÉ DIAMAGNÉTIQUE. — Aussitôt que les faits de diamagnétisme furent établis, on s'est demandé si les effets observés étaient dus à une simple répulsion ou bien à une véritable polarité induite, autrement dit si les corps DIAMAGNÉTIQUES deviennent sous l'influence de forces magnétiques, des aimants temporaires. Faraday a fait des expériences dans ce but. En 1851, Verdet publia d'autres expériences qui lui firent rejeter l'hypothèse de la polarité diamagnétique. Mais, en 1855, Tyndall fit de nouvelles expériences dans lesquelles il obtint une démonstration de la polarité du bismuth complètement indépendante. Weber décrit ensuite des expériences, à l'aide desquelles il établit l'existence de la polarité diamagnétique par une méthode entièrement différente de celle de Tyndall.

De l'eau et du sulfure de carbone contenus dans des tubes de verre minces ont été mis en expérience et dans les deux cas on a observé directement une polarité diamagnétique. (V. DIAMAGNÉTISME.)

POLARITÉ DU CORPS HUMAIN. — On a, peu récemment, décrit sous ce nom des phénomènes qu'on n'entend qu'un rapport très indirect avec l'électricité. Ils consisteraient en ce que, de part et d'autre de certains plans et de certains axes, le corps, pris soit dans son entier, soit dans ses parties, présente des réactions opposées sous l'influence de quelques agents. Ainsi, un pôle magnétique qui déterminerait une augmentation de sensibilité à la face antérieure d'un membre produirait une diminution s'il était présenté à la face opposée. Le membre serait donc polarisé, etc. Avant tout, l'existence de faits de ce genre a besoin d'être contrôlée scientifiquement, ce qui n'a pas encore été fait jusqu'ici.

POLARITÉ MAGNÉTIQUE. — Propriété qu'a un aimant ou un corps aimanté de se tourner vers le pôle.

POLE MAGNÉTIQUE. — On donne le nom de pôles magnétiques aux points où l'inclinaison de la boussole est de 90°, c'est-à-dire où l'aiguille de cet instrument devient verticale comme le fil à plomb. (V. AIGUILLE AIMANTÉE.)

Le pôle magnétique boréal est situé au nord de l'Amérique septentrionale par 70° 10' de latitude nord, et 100° 40' de longitude ouest. Le pôle magnétique austral est au sud de la Nouvelle-Hollande par 75° de latitude sud et 136° de longitude est.

Pôles de l'aimant. — Points par lesquels l'AIMANT attire avec le plus de force le fer et l'acier.

Pôles d'une pile. — Chacune des extrémités opposées de la pile galvanique.

Règle pour reconnaître les pôles d'une pile. — Le pôle négatif est toujours placé du côté du métal attaqué par le liquide. Le pôle positif correspond au métal non attaqué.

Détecteur de pôles. — Appareil imaginé par M. Hammer, directeur de l'établissement électrique d'Edison, à Boston, pour reconnaître les pôles d'une installation de fils et qui est basé sur l'emploi d'un papier réactif. Cet appareil se compose d'une pièce en rhodium, munie d'une manivelle et contenant deux cylindres de linéas à l'enroulement et au déroulement d'une bande de papier buvard, imprégné d'une dissolution de cyanure de potassium. La partie de la bande qui réunit les deux cylindres passe sur une plaque métallique reliée à l'une des bornes de l'appareil. L'autre borne communique par un ressort avec un filin en fer disposé au-dessus de la plaque et portant en relief une flèche et le mot *positif*. Pour reconnaître le sens du courant, on relie la ligne aux deux bornes par des fils volants, puis on abaisse le filin. Lorsque le courant passe de la borne du filin à l'autre, le mot positif et l'impression de la flèche indiquant la première borne se marquent en bien foncé.

Lorsque le courant passe en sens contraire il n'y a aucune impression, ce qui permet de reconnaître immédiatement la direction du courant.

M. Guebart indique un moyen simple de reconnaître un pôle : « Si l'on plonge dans une solution incolore d'acétate de plomb deux électrodes en platine ou en un autre métal inoxydable reliées aux pôles d'une pile, il se dépose instantanément sur l'électrode positive de magnifiques et brillants anneaux colorés de peroxyde de plomb en lames minces (ANNEAUX DE NOUÏL), tandis que sur l'autre électrode il ne se produit qu'un dépôt terne ou cristallin de plomb métallique, mêlé ou non de bulles d'hydrogène. » Ce moyen est à recommander, car le phénomène se produit nettement quel que soit l'état de dilution de l'acétate, et il suffit, quand l'expérience est terminée, de fermer sur lui-même le circuit de l'électrolyte pour faire disparaître les dépôts formés. Enfin de très faibles forces électromotrices suffisent pour produire le dépôt des lamelles de peroxyde de plomb dont la couleur varie du brun au vert suivant une échelle parfaitement déterminée. Quand la force électromotrice dépasse une certaine limite, on obtient une coloration noir mat.

On peut donc avoir une idée approximative de la grandeur de la différence de potentiel que l'on cherche à constater.

Distinction des pôles. — *Méd.* Il arrive souvent que dans un appareil médical les connexions ne soient pas assez évidentes pour que l'on puisse distin-

guer à première vue le signe des pôles. On peut alors avoir recours aux points de différentes sortes : par exemple, appliquer les *finérences* sur soi-même et observer, en faisant quelques interruptions et inversions, de quel côté se produit la plus forte réaction. Un procédé très commode est le suivant : on étale une certaine quantité d'amidon dans une solution d'iodeure de potassium. On étale une traînée de cette pâte fluide sur une feuille de papier et on y applique l'extrémité des fils. Le pôle positif se distingue par l'apparition d'une tache brunnâtre due à la mise en liberté de l'iode. L'épreuve convient également pour le courant induit.

POLYGRAPHE. — Appareil imaginé par M. Rago-sino et destiné à enregistrer divers phénomènes physiologiques. Le tracé s'obtient par une action chimique, provenant du passage d'un courant électrique sur une feuille de papier humide contenant un mélange d'iodeure de potassium et d'amidon. (*Reports du jury de l'Exposition de 1881.*)

POLYPHOTE (du grec *polus*, plusieurs; *phôs*, photos, lumière). **Lampe polyphote.** — Lampe à ARC VOLTAÏQUE fonctionnant avec plusieurs autres dans un même circuit; elles se divisent en *lampes différentielles* et en *lampes à dérivation*. (V. NEGULATEUR.)

POLYRHÉOLYSEUR. — RHÉOLYSEUR à plusieurs branches permettant d'envoyer des dérivations du courant dans plusieurs circuits.

POLYSCOPE. — Le polyscope électrique imaginé par M. Trouvé, en 1870, se compose d'un ACCUMULATEUR, système G. Planté (*fig. 1 et 2*); d'une série

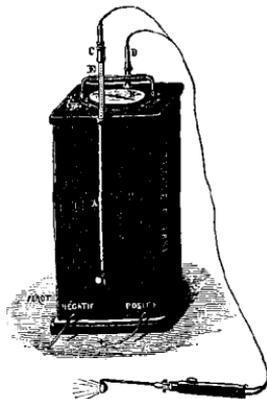


Fig. 1.

de réflecteurs munis ou dépourvus de miroirs et donnant des jeux de lumière variés et appropriés à l'éclairage des diverses cavités naturelles (*fig. 3 et 4*); d'une batterie de 4 couples Callaud, destinés à charger l'accumulateur; d'un *NEKOSTAT* très simple, destiné à régler le débit de l'accumulateur. (Ce rhéostat per-

met d'obtenir une telle régularité, qu'on peut porter des fils de platine de 1/15 de millimètre à 1,50

A cet effet, on introduit le polyscope dans une sonde portant latéralement, vers son extrémité, une ouv

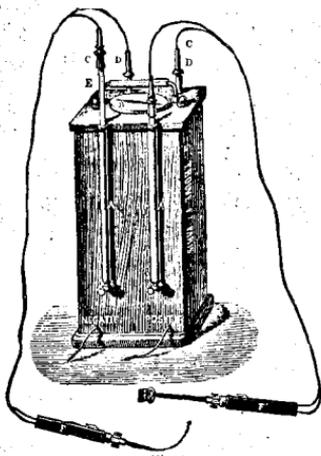


Fig. 2.

millimètre de diamètre jusqu'au rouge vif sans risquer de les faire fondre); d'un GALVANOMÈTRE à deux circuits, dans lequel la force électromotrice de l'accumulateur et celle de la pile Callaud sont en opposition. Cette disposition permet de se rendre compte à tout instant de l'état dans lequel se trouve la batterie et de la charge de l'accumulateur.

M. Trouvé est parvenu, par l'emploi du polyscope, à examiner et à éclairer les cavités profondes, telles que la vessie et l'estomac, etc.

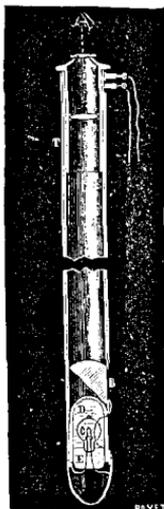


Fig. 5.

M. Chardin a construit également un polyscope (fig. 7 et 8) moins complet que le précédent, et qui n'est d'ailleurs destiné qu'à l'examen des cavités de

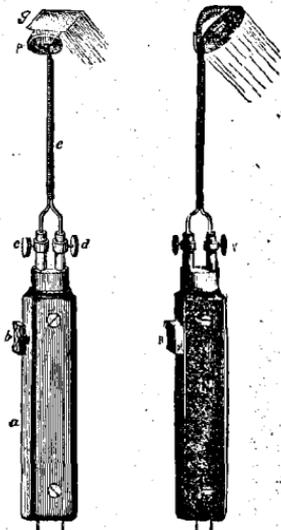


Fig. 3.

Fig. 4.

ture garnie d'un prisme B à réflexion totale et à face courbe (fig. 5). Ce prisme projette la lumière d'une petite lampe à incandescence C. Cette petite lampe est dans un compartiment à parois de verre D rempli d'eau pour éviter l'échauffement des organes. En regardant par l'extrémité supérieure de la sonde, qui doit être naturellement rectiligne, on voit la partie éclairée, même avec un certain grossissement. L'fig. 6 donne le schéma des trajets des rayons lumineux; l'image de *ab* vient se former en *a'b'* et est visible avec agrandissement en *a''b''*.

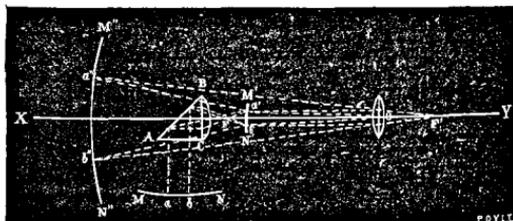


Fig. 6.

la bouche, du larynx, etc. Cet instrument a une grande analogie avec le phoroscope de MM. Hélot et Trouvé. Il se compose d'un tube en métal AB muni

à sa partie inférieure, d'un réflecteur, devant lequel se trouve une lampe à incandescence; une lentille G, placée à la partie antérieure, sert à concentrer les rayons lumineux sur l'objet à examiner. Suivant les

cas, le polyscope est fixé à l'extrémité d'un manche (fig. 7) ou sur un serre-tête, ce qui rend libres les deux mains de l'observateur (fig. 8).

A signaler aussi l'ÉLECTROMÉTALSCOPE du Dr Bois-

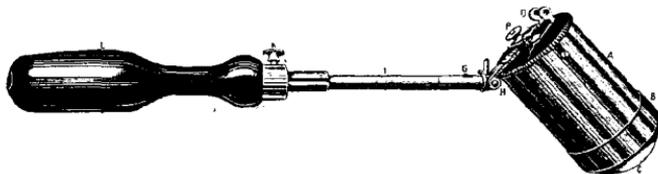


Fig. 7.

seau du Rocher, qui remplit le même but que le polyscope de M. Trouve, mais qui, par une disposition optique spéciale, augmente le champ visuel.



Fig. 8.

POMPE VOLTAÏQUE. — Appareil à l'aide duquel M. Planché a montré que l'on pouvait élever de l'eau à une certaine hauteur par les actions mécaniques et calorifiques d'un courant de haute tension. (V. les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 47 janvier 1876, t. LXXXIII.)

PONT DE WHEATSTONE. — Disposition servant à mesurer les résistances. Cette disposition, imaginée par Christie et appliquée par Wheatstone, est fondée sur ce principe qu'un courant envoyé dans un conducteur qui se bifurque, se partage également entre les deux branches si ces dernières sont d'égale résistance.

Soit un losange $abcd$ (fig. 1) dont les quatre côtés sont formés de lames métalliques et les quatre sommets pourvus de bornes permettant de relier ces lames à divers appareils ou aux fils à essayer.

Deux de ces bornes opposées (b et d par exemple) sont réunies entre elles par l'intermédiaire d'un GALVANOMÈTRE G.

Si l'on suppose en a l'électrode positive d'une pile P et en c l'électrode négative, le courant partant de P dans le sens de la diagonale se divisera en deux parties qui suivront, l'une le chemin abc , l'autre le chemin

adc , et se réuniront de nouveau en une seule qui retournera à la pile P.

Or, la force électromotrice du courant en un point quelconque, δ , par exemple, dépend :

1^o De la différence de la force électromotrice en a et en c , qui est, comme on le sait, la cause première du courant ;

2^o Du rapport $\frac{ab}{bc}$ des deux parties entre lesquelles le point b divise la résistance totale du conducteur

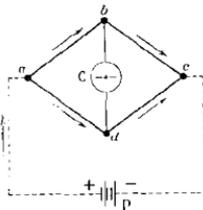


Fig. 1. — Pont de Wheatstone.

abc . De même pour un point quelconque d du conducteur adc . Si donc on choisit deux points tels que les deux rapports $\frac{ab}{bc}$ et $\frac{ad}{dc}$ soient égaux, les tensions électriques en b et en d seront égales, et si l'on joint ces deux points par un conducteur, ainsi que nous l'avons supposé, il n'y aura aucun courant dans ce conducteur cd , par suite, aucune déviation dans le galvanomètre qui y est intercalé. En résumé, il y aura courant dans la branche bd tant que l'égalité $\frac{ab}{bc} = \frac{ad}{dc}$ n'existera pas.

On voit le plus souvent cette égalité sous la forme

$$\frac{ab}{ad} = \frac{bc}{dc}$$

Introduisons maintenant une résistance R entre b et c , par exemple; une partie du courant qui devrait passer par ce côté du losange, trouvant par une autre voie un écoulement plus facile, se détournera par la diagonale bc et fera dévier l'aiguille du galvanomètre G. Pour faire revenir cette aiguille à sa position primitive, il faudra intercaler dans la branche dc

une résistance nouvelle R' égale à la résistance inconnue R et qu'il sera toujours facile d'évaluer.

Pour la mesure très exacte des très petites résistances, on se sert généralement du pont de Wheatstone à fil de platine, qui est représenté *fig. 2*, et qui se compose d'un fil de platine tendu le long d'une règle divisée en millimètres portant un curseur à verrou muni d'un poussoir permettant de mettre en contact à un moment donné ce curseur avec le fil de platine.

Les deux extrémités du fil sont en communication

avec des bandes épaisses en cuivre rouge séparées les unes des autres et terminées à chaque bout par des godets à mercure. Quand on veut mesurer une résistance, on fait plonger les deux extrémités de cette résistance (supposée un fil) dans deux godets placés en regard.

On intercale par le même moyen des résistances étalons entre les godets de l'autre branche du pont, on déplace le curseur jusqu'à ce que le galvanomètre soit ramené à zéro. Le rapport entre la résistance étalon et la résistance à mesurer est proportionnel

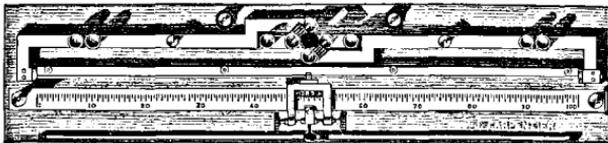


Fig. 2. — Pont de Wheatstone, grand modèle.

au rapport des deux longueurs de fil de platine placées de part et d'autre du curseur.

Le pont de Wheatstone peut recevoir de nombreuses applications. (V. *DÉRANGEMENTS des lignes télégraphiques* et *MESURES ÉLECTRIQUES*.)

PONT D'INDUCTION. — Appareil imaginé par le professeur Hughes pour mesurer la SELF-INDUCTION des bobines, des conducteurs, etc. C'est une combinaison d'un PONT DE WHEATSTONE ordinaire et de la BALANCE D'INDUCTION. Le pont sert à mesurer et à équilibrer la résistance du fil ou de l'appareil, et la balance d'induction sert à mesurer les EXTRA-COURANTS ou la self-induction que l'on réduit à zéro par des courants induits de sens contraire et d'intensité égale.

PORANT. — Nom sous lequel on désigne l'ARMATURE d'un AIMANT en fer à cheval et à laquelle on suspend la charge.

PORTE-VOIX ÉLECTRIQUE. — Nom donné par M. Miledé à un poste micro-téléphonique combiné de façon à remplacer dans les maisons le porte-voix ou acoustique employé jusqu'ici. (V. *TÉLÉPHONE*.)

POTITIF. — Se dit de l'un des deux fluides dont on suppose que l'électricité est composée, et de l'un des deux pôles dans tous les cas où il existe des pôles opposés.

Élément potitif d'une pile : celle des deux substances constitutives d'une pile qui n'est pas attaquée par le liquide excitateur.

POSTE AUX LETTRES ÉLECTRIQUE. — M. W. Siemens a proposé d'effectuer le transport des lettres à l'aide d'une petite MACHINE dynamo roulant sur des rails dans un boyaux carré en tôle de fer de 0m,50 de côté, servant ainsi de conducteur au courant; la terre formant fil de retour, la résistance électrique ne dépasserait pas 0,02 ohm par kilomètre, et une même machine fixe alimenterait 20 kilomètres de ligne. La voiture-botte à lettres poussée par le moteur étant très légère, celui-ci pourrait faire 1,000 tours par minute, et on aurait une vitesse de 60 kilomètres à l'heure. On produirait les arrêts en rompant le circuit (Gordon).

POSTE MICRO-TÉLÉPHONIQUE. — Poste téléphonique comprenant un transmetteur microphonique des récepteurs téléphoniques.

POSTE TÉLÉGRAPHIQUE. — Ensemble des appareils, objets et accessoires nécessaires pour transmettre et recevoir. — Ces appareils sont contenues dans un local spécial appelé BUREAU TÉLÉGRAPHIQUE. Dans le langage courant on emploie souvent le mot *poste* au lieu du mot *bureau*.

On désigne aussi quelquefois un poste télégraphique ou un bureau télégraphique sous le nom de *STATION TÉLÉGRAPHIQUE*.

On trouvera au mot *MONTAGE* les différents modes de réunion des appareils composant un poste télégraphique suivant le service qu'il doit assurer.

On appelle *Poste tête de ligne* un poste situé à l'extrémité d'une ligne; *Poste intermédiaire*, poste situé entre deux autres sur une même ligne.

Au point de vue de l'usage du télégraphe on donne les noms de :

Poste de départ, à celui dans lequel une dépêche télégraphique est déposée pour être expédiée;

Poste d'arrivée, à celui par les soins duquel une dépêche expédiée d'un autre poste doit être envoyée au destinataire par un exprès ou par la poste;

Poste de passage, à celui dans lequel on reçoit des dépêches venant d'une ligne pour les retransmettre sur une autre.

Les tarifs et les nomenclatures de l'Administration française des Postes et Télégraphes désignent sous les notations suivantes les postes télégraphiques :

N — *Poste à service permanent*, ouvert le jour la nuit sans interruption.

N/2 — *Poste à service de jour prolongé*, jusqu'à minuit.

C — *Poste à service de jour complet*, ouvert public de 7 heures du matin en été, et de 8 heures hiver, jusqu'à 9 heures du soir.

L — *Poste à service limité*, ouvert de 7 heures matin en été et de 8 heures en hiver à midi, et de 1 heure à 7 heures du soir les jours ouvrables; de 7 heures du matin en été et 8 heures en hiver

10 heures, et de midi à 3 heures du soir les dimanches et jours fériés.

M — Poste *municipal*, celui qui est géré par des employés municipaux. Dans les localités où le service des postes n'est pas installé, les postes municipaux sont ouverts les jours ouvrables de 9 heures du matin à midi et de 2 heures à 7 heures du soir; les dimanches et jours fériés, de 8 heures à 9 heures du matin et de 4 heures à 2 heures du soir.

B — Poste ouvert seulement pendant la saison des bains.

H — Poste ouvert seulement pendant la saison d'hiver.

(Ces deux notations peuvent se combiner avec les précédentes.)

LJBC — Poste ouvert avec service complet dans la saison des bains et limité pendant le reste de l'année.

LJHC — Poste ouvert avec service complet pendant l'hiver et limité pendant le reste de l'année.

Ec ou Bsc — Poste établi aux écluses et aux barages de canaux et rivières canalisées, admettant au départ toutes les dépêches et n'admettant à l'arrivée que les dépêches adressées « télégraphe restant ».

P — Poste appartenant à une compagnie privée ou à un particulier.

S — Poste sémaphorique.

Poste de gare. — Il existe un poste télégraphique dans toutes les gares et stations de chemins de fer. On les appelle généralement *permanents* quand ils restent dans le circuit pendant toute la durée du service de la station, et *facultatifs* lorsqu'ils sont ordinairement sur COMMUNICATION DIRECTE, auquel cas ils peuvent appeler leurs correspondants, mais non recevoir d'appel.

En principe les postes de gare sont exclusivement destinés à transmettre et à recevoir les dépêches intéressant le service du chemin de fer; mais un grand nombre d'entre eux sont ouverts à la télégraphie privée; dans certains pays même tous les postes de gare sont ouverts au public. En France les conditions de service de la télégraphie privée dans les gares sont extrêmement variables. Certaines gares sont ouvertes sans restriction au service privé; d'autres, désignées au *Dictionnaire des Postes et télégraphes* par les initiales : D, acceptent au départ les dépêches de toute provenance et à l'arrivée seulement celles adressées aux voyageurs et aux personnes résidant dans la gare; V, n'acceptent à l'arrivée et au départ que les dépêches de voyageurs et de personnes résidant dans la gare; VD, acceptent au départ les dépêches des voyageurs et des personnes résidant dans la gare et ne reçoivent à l'arrivée aucune dépêche. La remise d'un TÉLÉGRAMME au destinataire par les soins d'un poste de gare, dès qu'elle a lieu en dehors de l'enceinte du chemin de fer, est passible de frais d'express. — Tous les postes de gare doivent expédier et recevoir les dépêches officielles quand il n'y a pas d'autres postes télégraphiques dans la localité.

Si on considère les postes au point de vue de leur disposition, on peut, comme le fait l'État français les distinguer en :

Poste point de coupure. — C'est celui qui, placé sur le trajet des fils de grande communication, permet de les couper avec la plus grande facilité pour vérification ou expériences. A cet effet, les fils sont amenés dans l'intérieur du poste et la communication est établie en temps ordinaire au moyen de *spare-fus* plus ou moins simples et de bandes métalliques qu'il suffit d'enlever.

Poste à embrochage. — C'est celui dans lequel les ÉLECTRO-AIMANTS des appareils sont simplement intercalés dans la ligne qui relie deux postes situés de part et d'autre du premier.

Poste à bifurcation. — C'est celui qui est situé en un point où différentes lignes se croisent en suivant des voies différentes.

Poste télégraphique portatif. — (V. TÉLÉGRAPHE des chemins de fer.)

Poste télégraphique et téléphonique simultané. — Poste disposé de façon à permettre la télégraphie et la téléphonie simultanées par un même fil. (V. TÉLÉPHONE. *Système Van Rysselberghe.*)

Poste central. — Poste, bureau ou station télégraphique auquel aboutissent un grand nombre de lignes et qui centralise les dépêches pour les répartir ensuite entre les divers bureaux auxquels elles sont destinées. Ainsi il existe à Paris, à Londres et dans les autres villes importantes une station centrale télégraphique ou poste central : les bureaux de province et les bureaux de quartier y sont tous reliés. (V. STATION CENTRALE TÉLÉGRAPHIQUE.)

POSTE TÉLÉPHONIQUE. — Ensemble des appareils, objets et accessoires nécessaires pour transmettre et recevoir des dépêches téléphoniques. Ces appareils sont contenus dans un local appelé BUREAU TÉLÉPHONIQUE. Dans le langage courant, on emploie souvent le mot *poste* au lieu du mot *bureau*, et réciproquement. On désigne également un bureau ou un poste téléphonique sous le nom de STATION TÉLÉPHONIQUE.

On trouvera au mot TÉLÉPHONE des indications sur la méthode suivie pour relier entre eux les divers appareils d'un poste téléphonique et des développements sur l'organisation des stations ou postes centraux, ainsi que la description des appareils employés. Ce sont d'abord des MICROPHONES transmetteurs et des TÉLÉPHONES récepteurs; puis des appareils accessoires : systèmes d'appel, sonneries, piles.

Les postes téléphoniques sont presque tous d'intérêt privé; ils sont rattachés dans le service urbain ou interurbain à des postes centraux chargés d'établir les communications entre les divers interlocuteurs.

Il y a encore les postes téléphoniques publics ou cabines, dans lesquels un passant peut venir parler avec la personne qu'il désigne, moyennant une taxe ou sur la vue de sa carte d'abonné.

On a imaginé plusieurs dispositions ayant pour but de permettre au public de se servir d'un poste téléphonique sans l'intermédiaire d'un agent, dont le salaire absorbe généralement presque toute la recette.

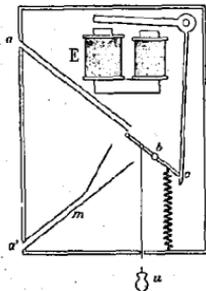
Voici une description succincte de ces dispositions, d'après un article de M. Rothen, dans le *Journal télégraphique de Berne* :

« MM. Crossley, Harcourt et Emmott placent dans la cabine téléphonique une boîte d'appel; le fil mettant la cabine en communication avec la station centrale passe dans la boîte, qui contient un commutateur à bascule établissant la communication lorsque la personne qui désire causer a introduit dans une ouverture pratiquée dans le couvercle de la boîte une pièce de monnaie, par exemple, de 20 centimes. Le commutateur à bascule, qui s'est incliné sous l'action du poids de la pièce, retourne dans sa position horizontale lorsque cette pièce, qui ne fait que passer, est tombée dans le tiroir placé à la partie inférieure de la caisse; mais la communication établie persiste

jusqu'à ce que la station centrale ait émis un courant qui interromp de nouveau la ligne et remet les choses dans l'état primitif.

On a essayé de substituer à l'action de la station centrale pour couper la ligne celle d'un mouvement d'horlogerie; mais on y a renoncé, à cause de la complication qu'entraîne l'adjonction de ce mouvement. Souvent on combine le commutateur avec un compteur permettant de contrôler le nombre des appels avec la recette. Les stations de ce genre sont en usage dans les réseaux téléphoniques du nord de l'Angleterre.

2° MM. Edmunds et Howard ont imaginé une station automatique qui rend l'argent lorsqu'on ne réussit pas à avoir la communication voulue. Le mécanisme est fort simple. La pièce de monnaie étant introduite en *a* arrive sur le plan incliné *b* et reste dans l'angle formé par ce plan et le levier *c* de l'armature d'un électro-aimant polarisé *E*. La station publique peut être mise en communication électrique avec la station centrale soit par le poids de la pièce de monnaie sur le plan incliné *b*, soit par l'attraction de l'armature qui éloigne *c* de *b*. Aussitôt que la pièce a été introduite dans l'appareil, on peut parler avec la station centrale. Si la communication peut être établie, la station centrale envoie un



courant positif qui change la position de l'armature de l'électro *E*. Le levier *c* s'éloigne de *b*, la pièce de monnaie tombe dans la boîte et *y* reste. L'armature de l'électro conserve sa position jusqu'à l'arrivée d'un courant négatif, et quand les cinq minutes allouées pour la conversation sont écoulées la station centrale envoie ce courant négatif; l'armature reprend alors la position indiquée sur la figure, et la communication avec la station centrale se trouve interrompue. Lorsque au contraire la station centrale ne peut donner la communication demandée par l'abonné, elle informe ce dernier, qui tire alors la corde *u*, et la pièce de monnaie tombe dans le canal *m* et sort en *a'*.

Un appareil analogue au précédent, combiné par MM. Rose et Rein, fonctionne, à la satisfaction du public, à Saint-Louis (États-Unis).

A citer aussi les appareils du même genre imaginés par M. Mann et par MM. Poole et Iver (constructeurs : Smith, Baker et Co, de Manchester). Ces deux systèmes sont automatiques et comportent l'emploi d'un mouvement d'horlogerie. Celui de MM. Poole et Iver est en usage depuis 1885 dans les réseaux de Manchester, Blackburn, Preston, Dublin, Blackpool, Oldham, Ashlon, etc.

POTEAU. — Mât supportant les ISOLATEURS qui soutiennent les fils conducteurs des lignes télégraphiques ou téléphoniques, et qui empêchent le courant de se perdre dans le sol.

Les poteaux les plus généralement employés sont en bois de pin ou de sapin injecté de sulfate de cuivre. L'injection est une opération qui consiste à remplacer, dans les interstices que présentent les fibres du bois, la sève et les autres liquides par une substance qui empêche la fermentation de ces liquides et l'attaque des insectes. Le sulfate de cuivre remplit le but. Pendant longtemps on s'est contenté de carboniser le pied du poteau. On a fait aussi des essais d'injection avec la créosote; en Belgique notamment on se sert beaucoup de ce dernier antiseptique que l'on injecte à raison de 250 à 280 litres par mètre cube de bois; mais les poteaux injectés de créosote brûlent les mains et les vêtements des ouvriers qui les touchent. En Amérique, on emploie quel que bois dur, particulièrement le bois de cœur rouge ou jaune, le châtaignier, le chêne, etc. Dans certaines contrées de l'Europe on emploie pour les poteaux du bois d'aune, de peuplier et de quelques autres espèces de bois blancs.

Les principaux types de poteaux sont les suivants :

1° Poteaux ordinaires de 6 mètres de hauteur.

2° Poteaux de 8 mètres de hauteur, pour l'haussagement des fils à la traversée des voies de chemins de fer, de certains chemins, etc. Exceptionnellement on emploie des poteaux d'exhaussement de 10 et même de 12 mètres de hauteur.

3° Poteaux couplés, dont la résistance est égale à environ cinq fois celle des poteaux ordinaires. Ces poteaux s'emploient dans les parties de ligne en courbe ou pour les changements de direction. Ils se composent de deux poteaux réunis à leur sommet par un boulon, écartés à leur partie inférieure de 1^m.50 environ et maintenus à cet écartement par une traverse boulonnée.

4° Poteaux haubannés. Ces poteaux, employés pour les changements brusques de direction, ne sont autres que des poteaux simples, amarrés par des haubans formés chacun de deux ou trois fils de fer galvanisés entourant l'extrémité supérieure du poteau, sur lequel ils sont maintenus par une vis. L'effort des haubans est dirigé suivant la bissectrice de l'angle formé par les fils. L'extrémité inférieure du hauban est attachée à un fort piquet enfoncé dans le sol ou fixé à un ouvrage d'art. Les poteaux haubannés ne sont employés que dans les cas d'absolute nécessité; ils sont, en effet, une cause de dérivation des courants électriques qui passent dans les fils de ligne.

Voici un aperçu des conditions exigées en France pour diverses hauteurs de poteaux. Ces poteaux doivent être droits et ronds depuis le sommet jusqu'à 1^m.50 de la base, et l'on n'admet que des pieds d'arbres.

Hauteur des poteaux.	à 1 mètre de la base.	6	7	8	9	10	11	12.
		0,42	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26.
		(Les diamètres sont ceux du bois écorcé.)						

Lorsqu'il s'agit de lignes télégraphiques placées le long des voies ferrées, la distance des poteaux au rail doit être telle que, dans les circonstances les plus défavorables, le fil ne puisse s'approcher à plus de 1^m.50 du rail le plus voisin.

Voici un tableau qui donne les distances minima à observer entre les poteaux et les rails sur les parties de lignes en courbes de différents rayons, ainsi que

les distances des poteaux entre eux. Ces distances varient avec le diamètre du fil employé à la construction de la ligne.

Rayons des courbes.	Distances entre les poteaux.	DISTANCE MINIMA des poteaux AUX RAILS.		Rayons des courbes.	Distances entre les poteaux.	DISTANCE MINIMA des poteaux AUX RAILS.	
		à l'extérieur.	à l'intérieur.			à l'extérieur.	à l'intérieur.
1^o Fil de 4 millimètres.							
500 ^m	33 ^m	2 ^m 14	1 ^m 60	1.300 ^m	80 ^m	3 ^m 51	2 ^m 29
600	39	2.28	1.84	1.400	90	3.58	2.34
700	46	2.44	1.88	1.500	90	3.54	2.38
800	53	2.61	1.93	1.600	90	3.49	2.43
900	59	2.75	1.99	1.700	90	3.46	2.46
1.000	66	2.91	2.06	1.800	90	3.42	2.50
1.100	72	3.03	2.11	1.900	90	3.39	2.53
1.200	79	3.29	2.19	2.000	90	3.37	2.55
2^o Fil de 3 millimètres.							
300	35	2.40	1.60	900	90	3.99	1.93
400	46	2.79	1.60	1.000	90	3.87	2.05
500	58	3.10	1.62	1.100	90	3.78	2.11
600	70	3.49	1.65	1.200	90	3.70	2.22
700	81	3.84	1.72	1.300	90	3.64	2.28
800	96	4.13	1.79	1.400	90	3.58	2.34
A partir de 1.500, comme pour le fil de 4 millimètres.							
3^o Fil de 2 millimètres.							
100	27	2.70	1.60	400	90	5.40	1.60
150	40	2.30	1.60	500	90	4.89	1.60
200	54	4.01	1.60	600	90	4.55	1.60
250	67	4.67	1.60	700	90	4.31	1.60
300	86	5.34	1.60	800	90	4.13	1.79
A partir de 900, comme pour le fil de 3 millimètres.							

La profondeur de plantation des poteaux varie de 1^m,50 à 2^m,50 suivant la hauteur des poteaux; on les consolide au moyen de quelques pierres, spécialement dans les courbes où ils pourraient être déversés. Dans ces appuis, le point de rupture n'est pas à l'encastrement dans le sol, mais un peu au-dessus, parce que le bas de la poutre est plus résistant que le haut de la pièce.

Poteaux en métal. — Le prix du bois tendant à augmenter d'une part, celui du fer et de la fonte tendant à baisser d'autre part, on a fait des expériences et des applications de poteaux métalliques dans les constructions télégraphiques en France. L'Administration a fait procéder à des essais très importants, sur lesquels M. Morris, inspecteur des lignes, a fait en 1875 un rapport détaillé. Depuis plus de vingt-cinq ans, à Paris, pour atténuer l'effet disgracieux des lignes aériennes, on a remplacé en certains points les poteaux en bois par des poteaux en fonte analogues aux candélabres à gaz. Pénétrant dans le sol de 60^m,60 environ, ces poteaux étaient soutenus par des potelets en bois peu résistants. Dès 1865, M. Baron fut chargé d'établir entre Paris et Saint-Germain une ligne à poteaux entièrement métalliques; la section de ces appuis est en forme de croix; ils se terminent à la partie supérieure par un petit cylindre sur lequel vient se fixer un V auquel se rattachent les isolateurs. Cette ligne

a subsisté sans nécessiter aucune réparation jusqu'à l'investissement de Paris (1870), époque à laquelle quelques dégâts sans importance ont dû être réparés.

Un système de poteaux en tôle, présenté par M. Desgoffe et modifié par l'auteur sur les conseils de M. Lelegard, a été appliqué à Juvisy, sur les voies du chemin de fer d'Orléans; il permet de remplacer avantageusement par une ligne unique une ligne double et même une ligne triple, chaque poteau pouvant en effet supporter jusqu'à trente-quatre fils.

L'usage direct des fers du commerce a été essayé. M. Oppermann a pris un brevet dès 1870 pour l'emploi de fers à T. M. de La Taille a fait appliquer ces poteaux à Orléans, et on a constaté qu'un appui de 5^m,50, planté à 1^m,20, supportait très bien vingt-cinq fils (400 kilogrammes), malgré la légèreté de son propre poids, qui atteignait seulement 88 kilogrammes. M. de La Taille a rendu la plantation plus solide en employant des massifs de béton; il a fait voir que le prix de revient kilométrique était moins élevé avec les poteaux métalliques qu'avec les poteaux en bois. M. Loir, inspecteur à Saint-Etienne, a employé dans son inspection des fers zorcés en V, qui ont donné de bons résultats. D'autres systèmes de poteaux en fer ont été étudiés et essayés; nous mentionnerons les poteaux Lemasson, à plantation rapide, et les poteaux en hélices croisées et rivées de la compa-

gale anglaise de Manchester. Des expériences complémentaires ont été faites sur des potelets, d

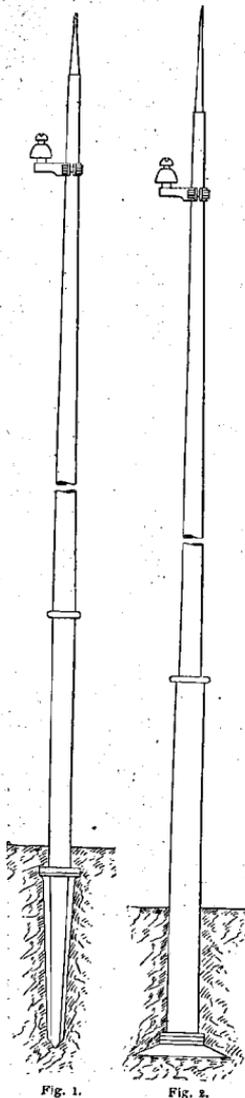


Fig. 1.

Fig. 2.

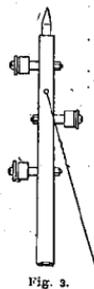


Fig. 3.

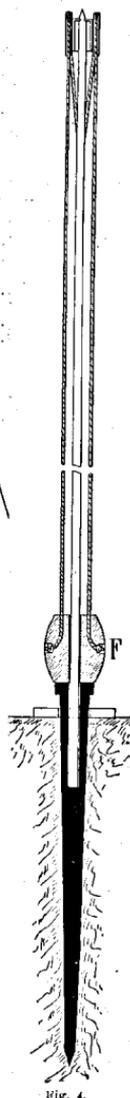


Fig. 4.

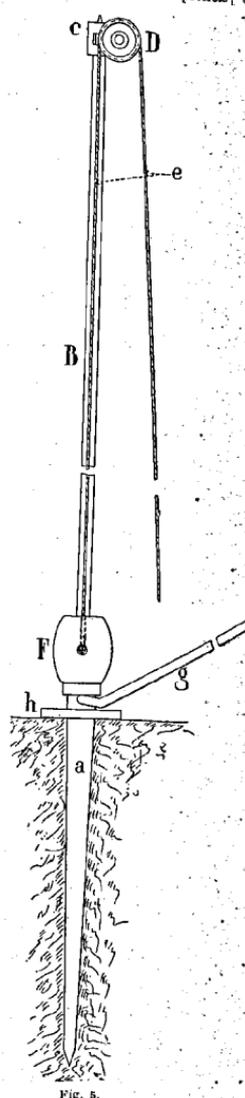


Fig. 5.

pointes d'angle et des poteaux d'exhaussement. En résumé, l'usage du fer a donné plus de durée de

résistance et d'élégance aux poteaux des lignes aériennes; le prix de revient est un peu plus élevé pour les ligues métalliques à peu de fils : mais dès que le nombre des fils dépasse dix ou douze, les frais d'établissement des lignes à poteaux de bois sont plus considérables.

En 1881, à l'Exposition d'Electricité, on voyait de nombreux types de poteaux en fer; nous citerons notamment :

Le poteau de *M. Papin*, formé de 4 fers cornières, chacun enclâssé dans une gaine de fonte dépassant le sol; il présente la forme d'une pyramide carrée à jour.

Le poteau *Lichtenfelder*, composé d'une tôle enroulée en forme tronc-conique et renforcée, s'il y a lieu, par un fer à l'intérieur, dont la nervure dépasse de façon à y placer des barreaux formant échelle. Le poteau peut être mis directement en terre ou encastré dans un socle de fonte si le terrain est humide.

Le poteau *Boileau*, composé d'une tige centrale en fer appuyée dans tous les sens par des assises en fonte à jour, qui sont superposées et donnent à l'ensemble la forme d'un obélisque.

Le poteau *Pichet et Jouru*, de Liège (Belgique). — Nous reproduisons, fig. 1 et 2, les deux types de poteaux métalliques de construction courante. La hauteur totale de ces poteaux, la pointe non comprise, est de 6 mètres, et ils pèsent environ 90 kilogrammes l'un. Les poteaux de tension sont des mêmes types, mais renforcés; leur poids est d'environ 126 kilogrammes. Ces poteaux sont pour lignes de 1 à 4 fils; on met habituellement 11 à 15 poteaux par kilomètre, dont 2 ou 3 de tension. Dans les terrains qui ne sont pas trop pierreux, on emploie d'ordinaire le type E (fig. 2) ou mieux encore des poteaux à vis. Ces derniers sont d'une pose prompte et facile. Dans les autres terrains, on fait usage du type D (fig. 1).

Il est à remarquer que les poteaux se composent de deux parties : la partie supérieure est un tube élévé conique (huile ou galvanisé) et la partie inférieure est en fonte peinte. La fonte a été choisie pour la partie enterrée, parce qu'elle résiste mieux que le fer à l'humidité de la terre.

Citons encore :

Le poteau *tubulaire conique en fer*, très léger, de *MM. L. Clark Muirhead et Co* (Angleterre). La partie enterrée est en fonte à nervures; dans la partie qui vient ensuite, le fer est renforcé par un doublage intérieur en feuilles d'acier, en sorte que la surface extérieure du poteau est unie. Les isolateurs sont fixés à l'extrémité de deux bras reliés par un anneau central qui s'engage dans le poteau et est maintenu par la forme conique de celui-ci.

Le poteau *tubulaire démontable en fer et fonte*, de *MM. Siemens frères*. C'est un tube à fond plat terminé par une pointe massive; dans l'intérieur on place un moulin cylindrique, que l'on soulève et fait rebouler sur le fond. Deux hommes peuvent planter ce poteau en huit minutes.

Enfin, nous croyons devoir signaler le nouveau système de poteau en métal à placement instantané pour lignes télégraphiques ou téléphoniques, exposé à Anvers, en 1883, par la Société anonyme des hauts fourneaux de Selessin (Belgique). Le pied de ce poteau est en fonte et de forme cylindro-conique; les montants sont de deux types : l'un, composé d'un fer en U, boulonné sur le pied dans un emboîtement spécialement disposé; l'autre, formé d'un tube de fer ajusté par emboîtement dans le pied en fonte. On peut mettre sur ces poteaux trois isolateurs et même davantage (fig. 3). Ceux-ci sont montés sur un boulon à deux écrous, lequel se fixe soit sur le fer en U, soit

sur le tube. La partie supérieure des poteaux est munie d'une pointe formant PARATONNERRE. En courbe de grand rayon, ils sont maintenus de la tête par un fil de fer galvanisé, dont l'autre extrémité vient se fixer dans le sommet d'un long clou en fer galvanisé, dont la longueur varie suivant la résistance au terrain. En courbe de petit rayon, la résistance au renversement des poteaux est combattue par la réunion des têtes de deux poteaux. Un simple boulon passant dans un trou préparé d'avance sert à la réunion des têtes.

Quant à la mise en place des poteaux, elle se fait simplement à l'aide d'un petit appareil spécial, très léger et qui se compose (fig. 4 et 5) :

1° D'un mouton F en acier, percé dans son axe d'un trou servant à le guider et latéralement de deux trous pour attacher des cordes destinées à le soulever.

2° D'un tube en fer B, qui est l'un quelconque des tubes destinés à servir de poteau dans le type à tube.

3° D'un faux-pied conique en acier, muni d'une pointe à son bout, d'une tête renflée à l'autre, en partie creux, recevant dans cette tête le tube dont il vient d'être parlé, lequel est simplement posé, sans attaches, dans le trou du pied. La forme extérieure du faux-pied, qui est tourné et lisse, reproduit exactement celle des pieds des poteaux dans la partie destinée à entrer en terre.

4° D'une double poulie D, à embrasses montées sur un bloc support C, qui vient simplement se poser à emboîtement sur l'extrémité supérieure du tube en fer.

5° D'une corde e double à son point d'attache sur le mouton et aussi à son passage sur les poulies, mais se réunissant en un seul brin par un anneau largement ouvert, de façon à conserver l'égalité de traction sur les deux brins reliés au mouton dans quelque direction que les ouvriers tirent. Le mouton, les poulies, et par suite la corde de traction peuvent prendre toutes les positions autour du tube qui les supporte.

6° D'un long levier à fourche g servant à extraire le faux-pied du sol, quand il a préparé le trou destiné à recevoir le pied véritable d'un poteau. Les branches de la fourche s'engagent naturellement sous le rebord présenté par la tête du faux-pied et on s'en sert en faisant peser sur un fragment de bois, ou mieux sur une plaque de métal percée h, d'épaisseur assez forte embrassant le faux-pied.

Une pioche, une pelle, une dame et un gros maillet en bois complètent cet outillage.

Certains terrains ne se prêtent pas ou se prêtent mal à l'opération de la mise en place de ces poteaux par préparation préalable d'un trou au moyen d'un faux-pied en acier. En pareil cas, il faut bien recourir à la bêche et à la pelle du terrassier ou aux outils du mineur. Ce sera une exception. Si la préparation du trou au moyen d'un faux-pied et du mouton ne réussit pas en un point donné, on a souvent la ressource d'essayer à quelques mètres plus loin. Pour les terrains exceptionnels exigeant le creusement d'un trou à la manière ordinaire, la forme des pieds des poteaux doit être modifiée : leur hauteur en terre est diminuée et on les arme à la base d'un plateau permettant d'obtenir la stabilité tout en réduisant la profondeur de la fouille. D'après les renseignements fournis par la Société de Selessin, les poteaux métalliques dont nous venons de parler, comparés aux poteaux en bois présentent de très grands avantages, notamment au point de vue du transport, de la pose, de la durée et du prix de revient, beaucoup moindre tout étant complié. Voici quelques données pratiques :

Les poteaux ordinaires, dont la saillie sur le sol est de 4^m,850, peuvent porter 10 fils au moins et se placer à 75 mètres et plus. La partie des poteaux entrant

dans le sol à une longueur de 1m,20. La durée d'un poteau métallique est estimée cinquante ans, celle

est d'environ 15 francs; le prix d'un poteau en métal tout posé, est d'environ 20 francs.

M. Dolome, ancien contremaître au laminage d'usines de Fraisans, a inventé un type de poteau métallique qui paraît digne d'être signalé. C'est un fer en croix ou un fer en Y (fig. 6, 7 et 8), à ailettes symétriques; le fer en croix est calculé à raison de 20 kilogrammes environ le mètre courant. Le poids d'un poteau métallique n'est donc guère supérieur à celui du poteau neuf en bois. Sa caractéristique est son mode rationnel d'implantation dans le sol, sans une base indépendante ni soubassement d'aucune sorte. M. Buisson a présenté ces poteaux à la Société de l'Industrie minière le 7 mai 1887; il s'exprime ainsi au sujet de leur mode de construction : « Le lingot de métal passe du four à réchauffer aux laminoirs et en sort poteau complet, sauf la mise de longueur et la séparation des ailettes à la base, dans le service de l'axe, ce qui représente quelques secondes de travail. Suivant les besoins, la poinçonneuse fore, pour recevoir les supports d'isolateurs, et l'expédition peut se faire comme s'il s'agissait de rails ou de fers à barres ordinaires. L'écartement des ailettes, qui correspond à l'embase, a lieu sur le chantier d'implantation à l'aide du premier truc venu, d'un bloc armé de



Fig. 6.

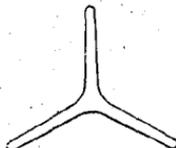


Fig. 7.

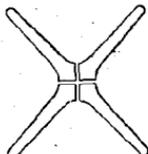


Fig. 8.

d'un poteau en bois dix ans. En Belgique, le prix d'un poteau en bois avec quatre isolateurs, tout posé,

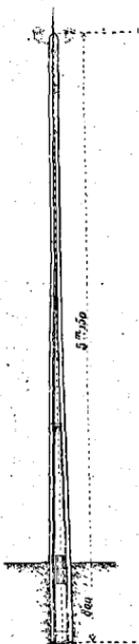


Fig. 9.

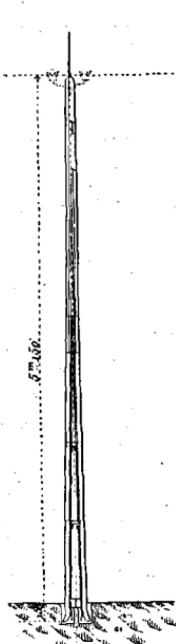


Fig. 10.

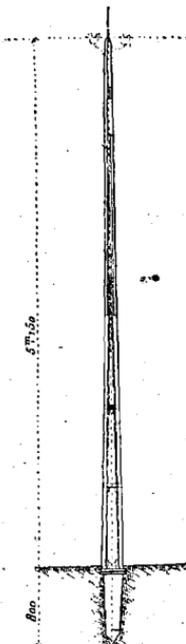


Fig. 11.

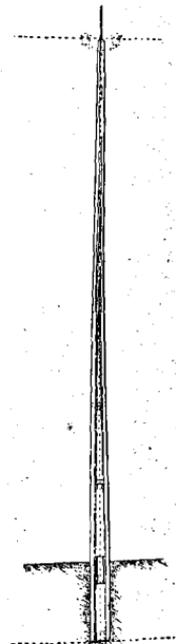


Fig. 12.

exemple; on prononce plus ou moins cet écartement selon la nature du sol. Lorsqu'on implante en

talus, l'ailette qui correspond à la déclivité du terrain est laissée droite et forme pivot. » Les profils étudiés

par M. Ch. Delorme trouveront certainement de nombreux emplois; car un fait admis, consacré par l'expérience, c'est la longue durée des poteaux métalliques: elle est au moins triple de celle assignée aux meilleurs poteaux en bois, et leur entretien est pour ainsi dire nul.

Enfin, MM. L. Weiller et C^{ie}, construisent des poteaux télégraphiques composés de quatre cornières en acier, qui se réunissent vers le sommet en s'adossant mutuellement; dans le cours de leur longueur, elles

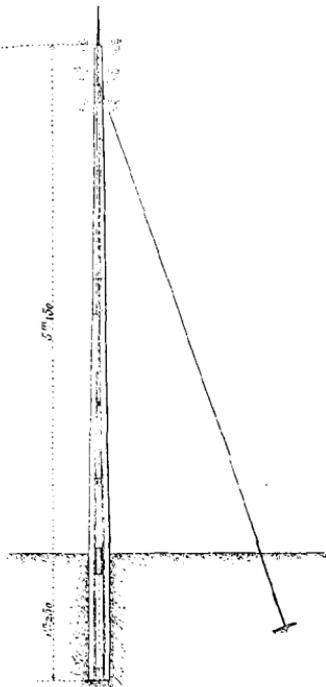


Fig. 13.

sont maintenues par des plaques entrelacées à des distances variables, calculées de façon à faire prendre aux poteaux ainsi constitués une forme d'égale résistance présentant l'aspect général d'une pyramide quadrangulaire à base carrée. Les cornières peuvent être d'une seule pièce ou être divisibles en deux ou plusieurs tronçons; l'assemblage de deux tronçons entre eux se fait simplement à l'aide d'un emmanchement en croix des cornières du tronçon supérieur sur celles du tronçon inférieur. Il existe plusieurs types de ces poteaux, qui diffèrent entre eux par la manière dont ils s'ancrent dans le sol. Les fig. 9, 10, 11, 12 et 13 donnent la vue de ces poteaux.

POTELET. — Petit POTEAU généralement fixé à un mur par des consoles à scellement et plus spécialement employé pour les créneaux de lignes dans les BUREAUX.

POTENTIEL ÉLECTRIQUE. — M. H. Fontaine, pour faire comprendre la notion du potentiel, établit une comparaison entre les phénomènes hydrauliques et les phénomènes électriques :

« En faisant communiquer deux vases contenant un même liquide, de l'eau, par exemple, à des niveaux différents, on remarque : 1^o qu'il se produit un écoulement d'un vase à l'autre jusqu'à ce que les niveaux soient les mêmes; 2^o que la direction de l'écoulement est indépendante de la grandeur des vases, le mouvement de l'eau ayant toujours lieu du niveau le plus élevé au niveau le plus bas, quand bien même le vase correspondant à ce dernier aurait une capacité centuple de celle du vase au niveau le plus élevé; 3^o que la vitesse d'écoulement est d'autant plus grande que la différence des niveaux est elle-même plus grande.

« Le potentiel électrique peut être assimilé au niveau de l'eau; en effet, quand on met en communication deux corps n'ayant pas le même état électrique, un courant s'établit du corps ayant le potentiel le plus élevé à l'autre corps, et il dure jusqu'à ce que les corps arrivent au même potentiel. La quantité d'électricité n'influe pas sur la direction du courant; enfin la puissance que le système est capable de développer est d'autant plus considérable que la différence de potentiel est plus élevée. » (*Eclairage à l'électricité*, par H. Fontaine, 1888.)

On peut dire encore :

« Le potentiel d'un corps chargé d'électricité, est la mesure de son électrisation. Toutes les fois que l'électricité se meut ou tend à se mouvoir d'une position à une autre, on dit qu'il y a une différence de potentiel entre ces deux positions. »

L'expression **potentiel en un point** est une expression abrégée de « différence de potentiel entre le point et la terre ». Le potentiel de la terre est pris comme étalon et est appelé **zéro**. On admet que les corps électrisés positivement sont à un potentiel plus élevé que la terre, tandis que les corps électrisés négativement sont à un potentiel moins élevé que celle-ci.

Chute de potentiel. — Diminution du potentiel en un point d'un circuit électrique par suite de sa mise en relation avec un conducteur à potentiel moindre ou nul et de résistance finie.

Théorie du potentiel. — Considérons un système de points matériels m_1, m_2, m_3, \dots entre lesquels s'exercent des forces centrales, c'est-à-dire des forces qui ne sont fonction que des masses des points entre lesquels elles s'exercent et de leurs distances. Ces forces, les seules qui puissent se manifester dans la nature, ainsi que l'a démontré Helmholtz dans son mémoire sur la Conservation de la force, sont de la forme $mm' \epsilon(r)$, en désignant par r la distance des points m et m' .

Soit v la vitesse du point m au moment où ses coordonnées sont x, y, z , et supposons que l'on vienne à fixer tous les autres points du système. La variation de vitesse du point m au bout d'un certain temps sera donnée par l'équation des forces vives :

$$\frac{1}{2} m (v^2 - v_0^2) = \Sigma m \int_{r_0}^r m_i \epsilon(r) dr.$$

Mais, puisque nous avons supposé tous les points autres que m fixes dans l'espace, il en résulte que

l'expression $\sum_{m \neq r} \frac{dm_r}{r}$ peut s'exprimer en fonction des coordonnées x, y, z du point m et des différences dx, dy, dz .

On pourra donc écrire :

$$\sum_{m \neq r} \frac{dm_r}{r} = m(Xdx + Ydy + Zdz).$$

où X, Y, Z représenteront évidemment les composantes de la résultante des actions exercées sur le point m par tous les autres points du système.

L'expression différentielle $(Xdx + Ydy + Zdz)$ est toujours une différentielle exacte; elle admettra donc une intégrale $\int(x, y, z)$.

C'est à la fonction $V = -\int(x, y, z)$ que l'on a donné le nom de *potentiel*. Elle jouit de propriétés très importantes, dont nous allons faire connaître les principales. De sa définition résulte immédiatement que :

1° *Quand, dans un système matériel, on déplace un point, en laissant tous les autres fixes, la variation du potentiel de ce point, multipliée par sa masse, est égale et de signe contraire au travail nécessaire pour son déplacement.*

2° *On appelle surfaces de niveau les surfaces définies par l'équation $V = K$ (K étant une constante arbitraire). On voit immédiatement que :*

Le travail nécessaire pour déplacer un point sur une surface de niveau est nul.

Le travail nécessaire pour faire passer un point d'une surface de niveau sur une autre ne dépend que de la différence des potentiels le long de ces deux surfaces, à laquelle il est proportionnel; il est indépendant du chemin suivi.

3° *La force en un point est égale et de signe contraire à la dérivée du potentiel par rapport à la normale à la surface de niveau qui passe en ce point.*

4° *La composante de cette force suivant une direction quelconque est égale et de signe contraire à la dérivée du potentiel suivant cette même direction.*

5° *Dans un système matériel en équilibre, le potentiel est constant en tous les points.*

En effet, pour que le point m soit en équilibre, il faut que la résultante des forces qui lui sont appliquées soit nulle, c'est-à-dire que l'on ait $X = Y = Z = 0$, d'où l'on tire :

$$\frac{dV}{dx} = \frac{dV}{dy} = \frac{dV}{dz} = 0.$$

Nous allons étudier maintenant, d'une manière plus spéciale, les propriétés du potentiel dans le cas des phénomènes électriques.

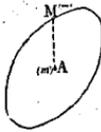


Fig. 1.

Considérons un point M à la surface d'un corps électrisé. Soient x, y, z ses coordonnées et a, b, c celles d'un point A situé dans l'intérieur du corps (fig. 1).

La force qui agit entre M et A a pour expression :

$$F = \frac{mm'}{r^2};$$

si nous prenons m' pour unité, nous aurons :

$$F = \frac{m}{r^2};$$

les composantes dirigées suivant trois axes rectangulaires seront :

$$X = \frac{m}{r^3} \cos \alpha = \frac{m}{r^3} \frac{x-a}{r},$$

$$Y = \frac{m}{r^3} \cos \beta = \frac{m}{r^3} \frac{y-b}{r},$$

$$Z = \frac{m}{r^3} \cos \gamma = \frac{m}{r^3} \frac{z-c}{r}.$$

Mais $\frac{(x-a)}{r}, \frac{(y-b)}{r}, \frac{(z-c)}{r}$ sont les dérivées partielles, au signe près, par rapport à a, b, c de l'expression de r ; en effet, on a :

$$\begin{aligned} r^3 &= (x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2 \\ -rdr &= (x-a)da + (y-b)db + (z-c)dc \\ -rdr &= \frac{x-a}{r} da + \frac{y-b}{r} db + \frac{z-c}{r} dc. \end{aligned}$$

D'autre part on a :

$$dr = \frac{dr}{da} da + \frac{dr}{db} db + \frac{dr}{dc} dc;$$

d'où l'on tire :

$$X = -\frac{m}{r^3} \frac{dr}{da},$$

$$Y = -\frac{m}{r^3} \frac{dr}{db},$$

$$Z = -\frac{m}{r^3} \frac{dr}{dc}.$$

ce qui peut s'écrire :

$$X = \frac{d\left(\frac{m}{r}\right)}{da},$$

$$Y = \frac{d\left(\frac{m}{r}\right)}{db},$$

$$Z = \frac{d\left(\frac{m}{r}\right)}{dc}.$$

Telles sont les valeurs des actions élémentaire exercées par un point de la surface sur un point intérieur. En prenant la somme, nous aurons l'action totale :

$$X = \int \frac{d\left(\frac{m}{r}\right)}{da} = \frac{d}{da} \int \frac{m}{r},$$

$$Y = \int \frac{d\left(\frac{m}{r}\right)}{db} = \frac{d}{db} \int \frac{m}{r},$$

$$Z = \int \frac{d\left(\frac{m}{r}\right)}{dc} = \frac{d}{dc} \int \frac{m}{r}.$$

Pour que l'équilibre ait lieu, il faut que toutes ces composantes soient nulles; donc il faut qu'on ait :

$$\int \frac{m}{r} = \text{constante} = V.$$

Cette constante n'est autre que le *potentiel électrique*.

Prends comme exemple une sphère, et cherchons le potentiel par rapport au centre; nous aurons :

$$\int \frac{m}{r} = \frac{m}{R} = \frac{M}{R} = V;$$

M désignant la masse totale de l'électricité répandue sur la sphère et R le rayon. Si nous prenons une sphère de rayon 1 et chargée de l'unité d'électricité nous aurons l'unité de potentiel.

Le potentiel est proportionnel à la quantité d'électricité. Supposons que l'on ait :

$$x \frac{m}{r} = V,$$

et que l'on multiplie en chaque point la masse électrique par un facteur constant K , nous aurons :

$$x \frac{Km}{r} = Kx \frac{m}{r} = KV.$$

Ceci nous montre que le potentiel est proportionnel à la quantité d'électricité, et que l'équilibre ne cesse pas d'exister quand on augmente la charge de chaque point dans un rapport donné. En d'autres termes, le rapport des charges de deux points dans un système en équilibre est indépendant de la charge totale.

Lorsqu'on réunit deux corps électrisés A et B par un fil « très long et très fin (fig. 2), afin d'éviter les

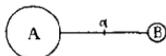


Fig. 2.

actions d'influence sans faire varier la capacité électrique du système, le potentiel est le même sur chacun des conducteurs, après que l'équilibre s'est établi.

En effet, nous savons que pour que l'équilibre électro-statique ait lieu sur un conducteur, il faut que le potentiel soit constant. Dans le cas actuel, les deux conducteurs réunis n'en forment plus qu'un seul. On doit donc avoir $\int \frac{w}{r} = \text{constante}$. Par conséquent, le potentiel est le même sur les deux conducteurs. Prenons deux sphères de rayons R et R' comportant des masses électriques M et M', nous aurons, en les mettant en communication :

$$\frac{M}{R} = \frac{M'}{R'}$$

d'où :

$$\frac{M}{M'} = \frac{R}{R'}$$

Les masses sont dans le même rapport que les rayons. Les charges sont exprimées par la formule $4\pi R^2 \rho$ où ρ désigne la densité électrique; nous aurons donc :

$$\frac{M}{M'} = \frac{4\pi R^3 \rho}{4\pi R'^3 \rho} = \frac{R}{R'}$$

d'où :

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{R'}{R}$$

Les densités électriques sont inversement proportionnelles aux rayons.

Pour montrer que le potentiel est le même sur deux conducteurs réunis par un fil long et fin, on fait l'expérience suivante : on prend un ellipsoïde chargé d'électricité et on le met en communication par la pointe avec une sphère placée dans une BALANCE de Coulomb. La déviation est la même quel que soit le point de l'ellipsoïde que l'on mette en communication avec la sphère.

La quantité d'électricité est proportionnelle au potentiel, absolument comme la quantité de chaleur est proportionnelle à la température.

Supposons que nous ayons deux corps de potentiels V et V', ils auront des quantités d'électricité (en désignant par c et c' leurs capacités) :

$$q = cV,$$

$$q' = c'V'.$$

Mettons-les en communication, l'équilibre s'établit, le potentiel devient égal à W sur les deux conducteurs, et comme la quantité d'électricité perdue par l'un d'eux est égale à celle gagnée par l'autre, on a, pour déterminer W :

$$c(W - V) + c'(W - V') = 0.$$

Potentiel d'une sphère par rapport à un point intérieur. — Cherchons le potentiel par rapport au point A (fig. 3). On a :

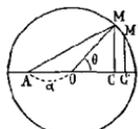


Fig. 3.

$$V = \int \frac{m}{r},$$

$$OC' = R \cos \theta,$$

$$OC' = R \cos (\theta + d\theta) = R \cos \theta - R \sin \theta d\theta \quad CC' = -R \sin \theta d\theta.$$

La surface de la zone comprise entre M et M' est :

$$= 2\pi R^2 \sin \theta d\theta.$$

Si ρ est la densité de l'électricité en chaque point, on a :

$$m = 2\pi R^2 \rho \sin \theta d\theta.$$

$$V = \int \frac{2\pi R^2 \rho \sin \theta d\theta}{r},$$

r = AM. Dans le triangle AMO, on a :

$$r^2 = a^2 + R^2 + 2aR \cos \theta,$$

$$r dr = -aR \sin \theta d\theta,$$

$$V = \int \frac{2\pi R^2 \rho r dr}{a}.$$

$$V = \frac{2\pi R^2 \rho}{a} (r - r_1).$$

$$r = a + R,$$

$$r_1 = R - a \quad r - r_1 = 2a,$$

$$V = 4\pi R^2 \rho \frac{M}{R} = \frac{M}{R}.$$

On retrouve la même formule que pour le centre de la sphère. Le potentiel est donc constant quel que soit le point choisi à l'intérieur de la sphère. Si on avait choisi un point à l'extérieur, la formule aurait été autre :

$$r = R + a,$$

$$r_1 = a - R, \quad r - r_1 = 2R.$$

$$V = \frac{4\pi R^2 \rho}{a} = \frac{M}{a}.$$

Le potentiel est alors inversement proportionnel à la distance a du point à la surface de la sphère.

Le potentiel électrique d'un conducteur mesure le travail que fourniraient les masses électriques réparties sur le conducteur en agissant sur l'unité d'électricité venant de l'infini et arrivant dans l'intérieur du conducteur. En effet, on a pour expression élémentaire du travail :

$$dT = Xda + Ydb + Zdc,$$

mais :

$$X = \frac{dV}{da}, \quad Y = \frac{dV}{db}, \quad Z = \frac{dV}{dc},$$

$$dT = \frac{dV}{da} da + \frac{dV}{db} db + \frac{dV}{dc} dc;$$

d'où :

$$T = V - V_1.$$

V₁ représente le potentiel correspondant à r = ∞, et par conséquent il est nul, puisque l'on a $V = \int \frac{w}{r}$.

Théorème de Laplace. — Si l'on considère un point P en dehors des masses agissantes, la somme des trois dérivées partielles du potentiel en ce point est nulle.

On a, en désignant par X, Y, Z les composantes de la force au point (x, y, z), et par V le potentiel :

$$\frac{dV}{dx} = -X = -\gamma \frac{x}{r^3},$$

m étant une masse située au point (ξ, η, ζ) distant de r du point (x, y, z).

D'où :

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\gamma m \left[\frac{1}{r^3} + \frac{\xi - x}{r^5} \frac{dr}{dx} \right],$$

ou, puisque

$$\frac{dr}{dx} = -\frac{\xi - x}{r},$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\gamma \frac{m}{r^5} \left[1 - 3 \left(\frac{\xi - x}{r} \right)^2 \right],$$

$$\frac{d^2V}{dy^2} = -\gamma \frac{m}{r^5} \left[1 - 3 \left(\frac{\eta - y}{r} \right)^2 \right],$$

$$\frac{d^2V}{dz^2} = -\gamma \frac{m}{r^5} \left[1 - 3 \left(\frac{\zeta - z}{r} \right)^2 \right];$$

d'où, en additionnant et remarquant que :

$$r^2 = (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + (\zeta - z)^2,$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2} = 0.$$

Théorème de Poisson. — La somme des trois dérivées secondes partielles du potentiel en un point est égale à la densité électrique au point considéré multipliée par -1.

Supposons d'abord que la masse agissante ait, dans le voisinage du point P, une densité constante ρ, et partageons cette masse en deux parties : une petite sphère enveloppant le point P et y produisant un potentiel V₁, et la partie extérieure dont le potentiel au même point est V₂.

Le potentiel au point P est :

$$V = V_1 + V_2,$$

d'où :

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2.$$

Comme le point P est en dehors des masses électriques extérieures à la sphère S, on a :

$$\Delta V_2 = 0,$$

d'après le théorème de Laplace. D'où :

$$\Delta V = \Delta V_1.$$

La valeur de ΔV ne dépend que de la masse enfermée dans la petite sphère.

D'autre part, l'origine des coordonnées étant au centre de cette sphère, on a :

$$\frac{dV_1}{dx} = -\frac{4}{3} \pi \rho x,$$

$$\frac{d^2V_1}{dx^2} = -\frac{4}{3} \pi \rho,$$

$$\frac{d^2V_1}{dy^2} = -\frac{4}{3} \pi \rho,$$

$$\frac{d^2V_1}{dz^2} = -\frac{4}{3} \pi \rho.$$

D'où :

$$\frac{d^2V_1}{dx^2} + \frac{d^2V_1}{dy^2} + \frac{d^2V_1}{dz^2} = -\frac{4}{3} \pi \rho;$$

mais on a ΔV₁ = ΔV, il vient donc :

$$\Delta V = \frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2} = -4 \pi \rho.$$

Théorème de Faraday. — Quand un corps électrisé A est entouré complètement par un conduc-

teur B de forme quelconque, il se produit une influence sur la surface interne de ce conducteur une couche électrique de masse égale et de signe contraire à celle du corps influent, dont la distribution dépend de la position et de la forme du conducteur électrisé, et sur la surface externe du conducteur une couche électrique de même masse distribuée également, comme s'il n'y avait pas d'électricité à l'intérieur. Si le conducteur B est mis en communication avec le sol, la couche externe disparaît; les couches internes ne sont pas modifiées et n'exercent aucune action sur un point extérieur.

On sait que dans tous les phénomènes naturels n'y a qu'un seul état d'équilibre possible. Il suffit donc dans chaque cas, de trouver une solution pour être assuré que c'est la véritable.

Considérons d'abord un conducteur A de forme quelconque, chargé d'une quantité +M, d'électricité et entouré complètement par un autre conducteur mis en communication avec le sol. Quand l'équilibre existe, ce conducteur possède sur sa surface interne une certaine couche -M. Il faut démontrer que M₁ = M₂. En effet, le potentiel est constant dans tout l'étendue du conducteur A; ce potentiel V₁ est la différence des potentiels des deux couches +M, et -M; chacun de ces potentiels n'est pas constant en général, c'est-à-dire que la couche +M, ne serait pas en équilibre d'elle-même, et que la couche -M, ne servant sa distribution sur un conducteur de même surface, ne serait pas non plus en équilibre.

En tous les points du conducteur B, le potentiel est aussi constant et égal à zéro, et cela quelle que soit la forme du conducteur; il faut donc que le potentiel des deux masses +M, et -M₁, à l'extérieur soit nul en tous les points. Or, à une grande distance D, ce potentiel est sensiblement :

$$\frac{M_1}{D} - \frac{M_2}{D},$$

et, pour qu'il soit nul, il faut que les deux masses M₁ et M₂ soient égales. Les deux couches +M, et -M₁ ont donc, en chaque point de l'extérieur, des masses égales et de signes contraires.

Potentiel. — *Méd.* On a l'habitude dans les applications électriques de ne considérer que l'intensité du courant. Or, il est incontestable que les effets physiques et physiologiques des deux courants d'égal intensité ne sont pas les mêmes si ces courants sont produits par des forces électromotrices différentes. La force électromotrice ou la différence de potentiel aux bornes d'un générateur d'électricité doit donc d'après M. R. Vigoureux, être tenue en compte par le médecin aussi bien qu'elle l'est dans l'industrie. C'est dans cette vue qu'il a muni d'un voltmètre sa

TABLE D'ÉLECTROTHÉRAPIE.

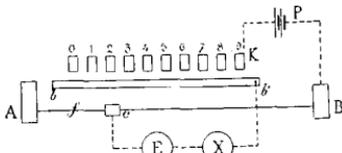
D'une manière générale, les appareils usités en médecine doivent être distingués suivant qu'ils fournissent l'électricité à un très haut potentiel comme les machines électriques ou à un potentiel faible comme les piles. Les appareils d'induction occupent un rang intermédiaire. Il n'est pas douteux qu'à énergie égale l'action physiologique n'est pas la même pour tous. Distinguer dans les effets physiologiques de l'électricité ceux qui se rapportent à la quantité, ceux qui se rapportent à la force électromotrice et ceux qui dépendent du travail, produit de ces deux facteurs c'est un problème encore nouveau pour les médecins mais bien digne de les occuper.

POTENTIEL MAGNÉTIQUE. — (V. AIMANT ET MAGNÉTISME.)

POTENTIOMÈTRE. — Littéralement, instrument destiné à mesurer la puissance.

Potentiomètre de Clarke. — Instrument destiné à mesurer la force électromotrice d'une pile par rapport à celle d'une pile-étalon. Il se compose d'un RHOÛSTAT à cylindre de Wheatstone, muni d'un curseur intercalé dans le circuit de deux piles dont les pôles de même nom sont reliés aux deux bornes qui reçoivent les extrémités du fil du rhéostat, d'une bobine DE RÉSISTANCES intercalée dans le circuit de la première pile, et d'un GALVANOMÈTRE intercalé dans le deuxième circuit. Les deux électrodes de la pile à étudier sont reliées d'une part à la borne où aboutissent déjà les pôles de même nom des deux autres circuits et d'autre part à un frotteur monté sur une règle divisée, ce qui permet de fermer le circuit de la pile à travers une fraction quelconque du rhéostat de Wheatstone. (V. MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES [Méthode de Clarke].)

Potentiomètre de G. Chaperon. — Appareil servant à mesurer les forces électromotrices ou différences de potentiel, notamment celles des PILES THERMO-ÉLECTRIQUES. Il se compose : 1° d'une sorte de boîte de résistances comprenant 9 bobines de 10 ohms chacune, séparées par des blocs 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 pouvant être mis en communication à l'aide d'une cheville avec la bande de cuivre *bb'*; 2° d'un fil



Potentiomètre de G. Chaperon.

de maillechort tendu entre deux plaques de cuivre A et B, et dont la résistance est également de 10 ohms; sous ce fil est une échelle divisée en 100 parties égales; 3° d'une pile P dont les électrodes sont réunies d'une part à la borne K de la boîte et d'autre part à la plaque B; 4° enfin d'un circuit dérivé partant de la borne fixe *b'* au curseur *c* et dans lequel on intercale la force électromotrice à évaluer E et l'appareil X servant à constater l'égalité des potentiels. La différence de potentiel entre les deux extrémités *b'* et *c* du courant dérivé, dépend de la résistance du circuit total ADPWK; or, on peut faire varier cette résistance en déplaçant le curseur *c* et la fiche de la boîte de résistances; les différences de potentiel croissent de 0 à 1 000 jusqu'à une valeur voisine de la force électromotrice de la pile P. On étalonne l'appareil avant et après chaque série de mesures en l'employant à équilibrer un couple connu.

Pouillet (Clande-Servais-Mathias), physicien français, né à Cuzance (Doubs) en 1791, mort à Paris le 13 juin 1868. Il entra comme élève à l'école normale supérieure en 1811, y resta ensuite comme répétiteur, puis maître de conférences, fut chargé en même temps d'un cours de physique au collège Bourbon, puis devint successivement professeur de physique des enfants de Louis-Philippe (1827), sous-directeur (1829), puis directeur du Conservatoire des arts et métiers (1832), professeur à l'école polytechnique (1834), et obtint en 1838 la chaire de physique de la

Sorbonne. L'Académie des Sciences l'accueillit en 1837, et le département du Jura l'envoya cette même année à la Chambre des députés, où il vota dans le sens du gouvernement jusqu'à la révolution de février 1848. En 1849, accusé d'avoir molli devant l'insurrection du 13 juin, il perdit sa place de directeur du Conservatoire; mais il se justifia dans un mémoire plein de dignité et de noblesse. Il refusa, en 1851, le serment exigé des fonctionnaires et cessa de paraître dans les chaires d'enseignement public.

Pouillet s'est surtout distingué par la clarté claire et élégante de ses leçons, par l'intérêt qu'il a su donner à la science; mais on lui doit aussi d'utiles et intéressantes expériences sur diverses parties de la physique. C'est encore à lui qu'on doit la première démonstration expérimentale des LOIS que suivent les COURANTS ÉLECTRIQUES.

Le principal de ses ouvrages est son *Traité de Physique expérimentale et de Météorologie* (2 vol., avec atlas), qui a eu sept éditions et a été traduit en allemand par M. J. Müller, de Fribourg; Pouillet en a donné un abrégé sous le titre: *Notions générales de Physique et de Météorologie, à l'usage de la jeunesse*. On lui doit en outre un grand nombre de notes et de mémoires, dont nous citerons les principaux: *Mémoire sur la pile de Volta et sur la loi générale d'intensité que suivent les courants* (1837); *Mémoire sur la mesure relative des sources thermo-électriques et hydro-électriques, et sur les quantités d'électricité qui sont nécessaires pour opérer la décomposition chimique d'un gramme d'eau* (1837); *Instruction sur les PARATONNERRENS, adoptée par l'Académie des Sciences; Recherches sur les dilatations des fluides élastiques et les chaleurs latentes des vapeurs* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1847); *Expériences sur la détermination des températures très élevées ou très basses* (Comptes rendus, 1836 et 1837); *Sur la chaleur solaire, les pouvoirs rayonnant et absorbant de l'atmosphère et la température de l'espace* (Comptes rendus, 1838); *Sur la hauteur, la vitesse et la direction des nuages* (Comptes rendus, 1840); *Sur un moyen photographique de déterminer la hauteur des nuages* (Comptes rendus, 1855); *Nouvelle méthode pour graduer les aréomètres à degrés égaux* (Comptes rendus, 1883).

Pouillet était officier de la Légion d'honneur depuis le 24 avril 1845.

POUSSIÈRES. Précipitation des poussières par l'étincelle électrique. — Procédé imaginé par M. le Dr Lodge pour débarrasser un certain espace d'air de poussières qui y sont en suspension, et qui consista à faire passer dans cet espace des étincelles produites par une MACHINE ÉLECTRO-STATIONNAIRE de Voos ou de Holtz. Dans une de ses expériences, une chambre remplie de fumée de térébenthine au point de rendre invisible un bec de gaz, a commencé à redevenir transparente après une minute ou deux d'électrisation, et au bout d'un quart d'heure toute la suite était déposée sous forme de filaments contre les parois de la chambre.

POUVOIR CONDENSANT. — Rapport de la capacité d'un CONDENSATEUR à celle qu'il conserverait si on lui enlevait son ARMATURE extérieure.

POUVOIR CONDUCTEUR du milieu pour les lignes de force. — Synonyme de coefficient de PERMÉABILITÉ MAGNÉTIQUE.

POUVOIR ÉLECTRO-OPTIQUE. — Propriété qu'ont le verre et certains autres diélectriques soumis à une

déformation électrique intense de devenir biréfringents et de transformer la lumière polarisée rectilignement en lumière polarisée elliptiquement. Cette découverte est due au Dr Kerr, de Glasgow, et date de 1875 (Gordon). En 1879, le professeur W.-C. Röntgen de Geissen a répété les expériences du Dr Kerr, et ces expériences ont confirmé les résultats annoncés par ce dernier: l'électricité exerce sur la lumière son maximum d'effet quand la ligne de force et le plan de polarisation font un angle de 45°; il n'y a aucun effet quand la ligne de force coïncide avec le plan de polarisation ou lui est perpendiculaire.

Le Dr Kerr, ayant poursuivi ses études, a pu formuler la loi suivante :

L'intensité de l'action électro-optique d'un diélectrique donné, c'est-à-dire la quantité d'effet optique, ou la différence de marche du rayon ordinaire et du rayon extraordinaire par unité d'épaisseur du diélectrique, varie en raison directe du carré de la force électrique résultante.

POUVOIR INDUCTEUR. — Synonyme de CAPACITÉ INDUCTIVE SPÉCIFIQUE.

POUVOIR MULTIPLIPLICATEUR d'un shunt. — Rapport de l'intensité du courant qui traverse un GALVANOMÈTRE sans shunt à celle du courant qui traverse cet instrument shunté. Ce rapport a pour valeur $m = \frac{G+S}{S}$, en représentant la résistance du galvanomètre par G et celle du shunt par S.

En effet, d'après la loi des courants dérivés, la résistance réduite est égale, dans le cas de deux circuits, au produit des résistances divisé par leur somme $\frac{GS}{G+S}$. Or l'intensité I du courant qui traverse le galvanomètre seul est $I = \frac{E}{G}$; l'intensité I' du courant qui traverse le galvanomètre shunté est :

$$I' = \frac{K}{\frac{GS}{G+S}} = \frac{E(G+S)}{GS}$$

d'où :

$$\frac{I'}{I} = m = \frac{G+S}{S}$$

POUVOIR ROTATOIRE MAGNÉTIQUE. — Propriété que possèdent le verre et d'autres substances de faire tourner le plan de polarisation d'un rayon lumineux qui les traverse, sous l'influence de la force magnétique. La *rotation magnétique* a été découverte par Faraday. La détermination de la grandeur du pouvoir rotatoire magnétique des corps en fonction des unités fondamentales de la mécanique (le centimètre, la masse du gramme et la seconde de temps, dites « unités absolues ») a une grande importance pratique et théorique. En effet, la connaissance de ce nombre, dit M. Henri Becquerel (Mémoires présentés à l'Académie des Sciences, 1885) permet de mesurer très facilement en unités absolues l'intensité d'un champ magnétique quelconque et l'intensité d'un courant électrique. Au point de vue théorique, il est également fort intéressant de connaître l'expression mécanique d'un phénomène qui relie les effets optiques aux actions magnétiques mesurées avec les mêmes unités. M. H. Becquerel a publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, octobre 1885, un mémoire sur la mesure du pouvoir rotatoire magnétique des corps en unités absolues.

Sir W. Thomson a fait les remarques suivantes à ce sujet (*Reprint of papers*, p. 419, cité par Mascart et Joubert) :

« L'influence du magnétisme sur la lumière, découverte par Faraday, dépend du sens du mouvement des particules malléables. Par exemple, dans un milieu qui possède cette propriété, les particules situées sur une droite parallèle aux lignes de force, déplacées sur une hélice ayant cette ligne comme axe, puis projetées tangentiellement avec une vitesse capable de leur faire décrire des cercles, auront des vitesses différentes suivant que leur mouvement s'effectuera dans un sens (par exemple celui du courant qui produit le champ) ou dans le sens opposé. Mais l'action réaction élastique du milieu doit être la même pour des déplacements égaux, quelles que soient les vitesses et la direction des particules; c'est-à-dire les forces qui font équilibre à la force centrifuge du mouvement circulaire doivent être égales, bien que les mouvements lumineux soient inégaux.

« Les mouvements circulaires absolus étant ou égaux ou capables de donner des forces centrifuges égales aux particules considérées en premier lieu, il faut que les mouvements lumineux soient seulement des composantes du mouvement total; et que le moindre composante lumineuse dans une direction composée avec le mouvement qui existe dans l'espace, quand il ne transmet pas de lumière, donne la même résultante que le plus grand mouvement lumineux composé avec le même mouvement nul lumineux.

« A mon avis, non seulement il est impossible de concevoir autrement que par cette explication dynamique comment un rayon polarisé circulairement qui traverse un morceau de verre aimanté parallèlement aux lignes de force, peut, tout en conservant la même qualité, c'est-à-dire en restant toujours droit ou toujours gauche, se propager avec une vitesse différente, suivant qu'il se meut dans le sens de lignes de force ou en sens contraire; mais je pense qu'on peut démontrer qu'il n'y a pas d'autre explication possible.

« Il semble résulter de là que la découverte de Faraday apporte une démonstration de la réalité de l'hypothèse d'Amperé sur la nature intime du magnétisme, et donne une définition de l'aimantation dans la théorie mécanique de la chaleur.

« L'introduction du principe de la conservation des aires dans l'hypothèse des tourbillons (vortices) moléculaires conduit à ce résultat que la ligne perpendiculaire au plan sur lequel la somme des projections des aires des mouvements thermiques est un maximum (plan maximum des aires) pourrait bien être l'axe magnétique du corps aimanté, et suggère l'idée que le moment magnétique se trouverait alors défini par la valeur de cette projection.

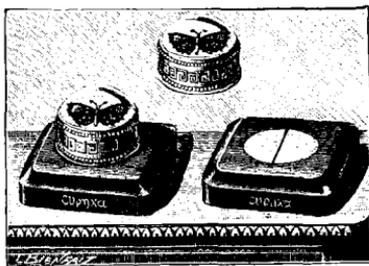
« L'explication de tous les phénomènes d'attraction et de répulsion électro-magnétique, ainsi que d'induction électro-magnétique, doit dès lors être cherchée simplement dans l'inertie et la pression de la matière dont le mouvement constitue la chaleur. Maintenant que cette matière soit ou non l'électricité, qu'elle soit un fluide continu remplissant les espaces intermoléculaires, ou qu'elle soit elle-même groupée moléculairement; ou encore, toute matière est-elle continue et l'hétérogénéité moléculaire n'est-elle due qu'à des tourbillons fins ou à d'autres mouvements relatifs des parties contiguës d'un corps; ce sont des points qu'il est impossible de décider et sur lesquels il serait peut-être oiseux de faire des spéculations dans l'état actuel de la science. »

POUVOIR THERMO-ÉLECTRIQUE. — On appelle pouvoir thermo-électrique de deux métaux soudés la grandeur de la force thermo-électrique pour une dif-

ferencé de 1° centigrade entre les deux soudures, la force thermo-électrique étant la force électromotrice qui se développe lorsqu'on chauffe la soudure de deux métaux dissimilaires. Le pouvoir thermo-électrique a pour expression mathématique la dérivée de la force électromotrice par rapport à la température. (V. FILLES THERMIO-ELECTRIQUES.)

PRÉAMBULE D'UNE DÉPÊCHE.— Toute dépêche présentée à l'expédition reçoit un numéro d'ordre. Le stationnaire doit inscrire sur la minute de tout télégramme déposé : le numéro d'ordre, suivi, le cas échéant, du numéro indicatif du bureau télégraphique (dans les grandes villes); le nombre de mots; la date et l'heure du dépôt; en outre, s'il y a lieu, l'indication de la voie, le nombre des adresses (dans un télégramme multiple), enfin la mention : « taxes à percevoir.... francs..... centimes » (dans un télégramme à faire suivre). Ces diverses indications, portant en tête le nom du bureau destinataire immédiatement suivi du nom du bureau d'origine, sont destinées à être transmises dans le même ordre. Leur ensemble constitue le *préambule*, dont la transmission précède toujours un télégramme privé ou officiel quelconque.

PRESSE-PAPIER ÉLECTRIQUE DE M. Trouvé.— Objet rentrant dans la catégorie des *micros électriques* créés par ce constructeur. Il est essentiellement constitué par un électromoteur simple animant des oiseaux, des insectes, des papillons, etc., naturels ou



Presse-papier électrique.

artificiels, placés sous une lentille plan-convexe. Le tout repose sur un socle fermement ancré. Le socle-pile et le presse-papier proprement dit sont représentés, séparés l'un de l'autre, sur la figure. Lorsqu'il n'est pas posé sur son socle, le presse-papier est dit au repos; lorsqu'il contraire il est posé sur son socle, les papillons, insectes, etc., placés sous la lentille sont en mouvement. Il est facile de comprendre pourquoi : les extrémités du circuit de l'électromoteur dépassent légèrement le fond du presse-papier, tandis que les deux pôles de la pile aboutissent à deux surfaces semi-circulaires métalliques fixées sur le socle-pile. Lorsqu'on pose le presse-papier sur son socle, les extrémités du circuit de l'électromoteur sont en contact avec les deux pôles de la pile.

PRESSE A PILE.—Découvert en métal servant à servir l'une des électrodes d'une pile pour y raccorder un fil. Il en existe de plusieurs formes; nous donnons la figure d'une presse à pile composée d'un cylindre de

cuivre muni à sa partie inférieure d'une fente dans laquelle on introduit l'électrode et à sa partie supérieure d'un tron dans lequel on passe le bout du fil; l'électrode et le fil sont serrés par des vis.



PRESSON ÉLECTRIQUE.— Si l'on considère un *champ électrique*, on appelle *force électrique résultante*, en un point de ce champ, la force que l'unité de l'électricité concentrée en ce point éprouverait si cette unité d'électricité n'exerçait pas d'influence sur les distributions électriques du voisinage. La force résultante s'exerce sur chaque point de la surface d'un conducteur normalement à cette surface, il en résulte que chaque point est soumis à une force venant du conducteur (tension) et s'exerçant contre l'air qui l'entoure. Si on découpe un élément w de la surface, la résultante des actions du reste de la surface sur cet élément est $2\pi w \cos \theta$ (étant la densité électrique dans la portion de la surface voisine du point). La *pression électrique* est cette force rapportée à l'unité de surface. On a alors : $p = 2\pi^2 \times \cos \theta$.

En observant que la force résultante en un point de l'air très voisin de la surface d'un conducteur électrisé est perpendiculaire à cette surface, puisque c'est une surface *équipotentielle* et égale à 4π , on peut écrire $p = \frac{1}{8\pi} R^2$ en posant $R = 4\pi$ (Gordon).

Priestley (Joseph), célèbre chimiste, philosophe et théologien schismatique anglais, né à Fielthead, près de Leeds, le 13 mars 1733, mort à Northumberland, en Pensylvanie, le 6 février 1804. Il a laissé de nombreux ouvrages de polémique religieuse, des traités où il a exposé ses très importantes découvertes en chimie, et *l'Histoire et l'État présent de l'électricité* (Londres, 1765-1775), traduit dans les différentes langues européennes, et en français par Brisson.

PRINCIPE DE CARNOT.—(V. CARNOT [Principe de].)

PROJECTEUR.—Appareil servant à renvoyer la lumière d'un foyer électrique en un seul faisceau dont la portée devient très grande. On l'emploie dans les arts militaires pour la *TELEGRAPHIE OPTIQUE* et pour éclairer momentanément un espace de terrain. On s'en sert aussi à bord des navires pour éclairer leur route.

La première idée de l'application de la lumière électrique à l'art militaire remonte à l'année 1859. En 1867 on vit à l'Exposition universelle de Paris un projecteur envoyé par l'Autriche; mais les premières applications vraiment pratiques furent faites pendant le siège de Paris, en 1870-71. On employait comme sources d'électricité les piles et la machine de l'Alliance, et on projetait la lumière au moyen de réflecteurs paraboliques ou sphériques de petits diamètres, de lentilles combinées plus ou moins hémisphériques et de projecteurs lentillaires. Les Allemands étudièrent de leur côté l'emploi de la lumière électrique pour les opérations militaires. Ils exposèrent en 1873, à Vienne, un appareil de projection de lumière électrique alimenté par une machine dynamo-électrique Siemens, MM. Sautter, Lemonnier et Cie présentaient la même année, dans la section française, un projecteur destiné à la marine alimenté par une machine Gramme.

Depuis cette époque on a fait des travaux sérieux.

et il résulte des expériences faites en 1887 par une commission d'officiers français que l'éclairage électrique compte aujourd'hui parmi les moyens utiles de défense dont disposent les corps d'armée et les places de guerre.

On trouvera au mot MACHINE (*Applications diverses*) la vue d'une locomobile avec machine Gramme pour la défense des places et des côtes.

Quant au projecteur étudié par le colonel Mangin et adopté par le ministère de la Guerre, il se compose d'un miroir de verre concave-convexe, à surfaces sphériques de rayons différents. La face convexe réfléchissante est recouverte d'argent. Ce miroir, qui a

0^m,90 de diamètre, jouit de la remarquable propriété de ne pas avoir d'aberration de sphéricité, malgré presque égalité entre son diamètre et sa distance focale. Le faisceau qui sort du projecteur Mangin, que la lampe est au foyer de la lentille, est parfaitement limité par une circonférence presque sans pédoncule et n'a de divergence que celle due à la dimension de la source lumineuse, c'est-à-dire 2° et demi environ. La lumière est uniformément répartie sur toute sa surface. Cet appareil possède la propriété de pouvoir, par le simple déplacement du foyer, lequel s'effectue au moyen d'une vis ordinaire, éclairer volonté un espace considérable ou concentrer la



Fig. 1. — Projecteur Mangin placé sur un socle en treillis.

son intensité sur un même point. Il peut donc servir à un certain nombre d'opérations militaires.

Le projecteur Mangin s'installe souvent sur un support à axe fixe; on peut aussi le placer sur de grands pylones lorsqu'il s'agit d'éclairer une surface étendue, gare de débarquement, chantier de port, etc. Le projecteur peut enfin se placer sur un socle en treillis, ainsi que le montre la fig. 1. Le projecteur le plus employé a 0^m,40 de diamètre. Pour les travaux de siège, soit pour l'attaque, soit pour la défense, on se sert des projecteurs de 0^m,60 de diamètre; enfin, pour la défense des côtes et des passes on a adopté le projecteur Mangin de 0^m,90 muni de portes minimes et éclairant généralement de 6° à 25°, de manière que, quelle que soit la rapidité de marche du navire surveillé, il puisse être visé pendant le temps qu'il reste dans le faisceau lumineux.

Nous avons donné au mot ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE (*Eclairage des canaux pour la navigation de nuit*)

des extraits d'une note communiquée à ce sujet par M. de Lesseps à l'Académie des Sciences. Voici quelques renseignements sur l'installation et la manœuvre des projecteurs à bord des navires :

« Pour la navigation de nuit dans le canal de Suez on place sur les navires, à l'avant, un projecteur de lumière électrique d'une puissance et d'une divergence convenables, pour rendre visibles les berges; et un nombre suffisant de bouées ou balises. Ce projecteur est analogue à celui employé pour les usages militaires. C'est un appareil d'optique qui concentre les rayons lumineux émanant de la source placée à son foyer et les renvoie dans la direction voulue. Dans le cas qui nous occupe le projecteur fournit un faisceau aplati horizontalement et épanoui dans un angle de 18° à 20°. Ce faisceau peut être lancé dans toutes les directions par des mouvements d'oscillation autour de deux axes perpendiculaires que la cage du projecteur peut recevoir; à l'intérieur la lumière est produite par une lampe

électrique dont les charbons se rapprochent automatiquement, ou mieux à la main; des ouvertures placées dans deux directions perpendiculaires permettent d'observer l'axe visuel et d'en régler la production de la manière la plus convenable. Ces appareils sont surtout intéressants par la disposition optique proprement dite; le miroir aplanétique du colonel Manzin paraît être la meilleure. Le faisceau qu'il réfléchit est homogène dans toute sa section et bien concentré, l'aberration de sphéricité étant corrigée par la surépaisseur de verre que ces miroirs ont sur les bords; la divergence horizontale voulue est obtenue en faisant traverser au faisceau lumineux une porte composée de lentilles de verre plano-cylindriques d'une courbure convenable. D'autres dispositions optiques sont également employées par les constructeurs anglais: ce sont des lentilles de Fresnel avec partie centrale dioptrique et bords catadioptriques, ou bien une lentille de Fresnel entièrement dioptrique. On donne à ces derniers appareils un diamètre plus grand que ceux des miroirs Manzin, 60^m, 60 au lieu de 0^m, 43, et ce, afin de compenser l'infériorité de leurs propriétés optiques.

Pour la même raison, l'intensité de la source lumineuse employée au foyer des appareils anglais est d'environ moitié plus grande: 60 ampères au lieu de 45, limite supérieure des appareils français.

Dans tous les cas, la façon dont le projecteur est ajusté sur le navire est toujours la même; il est suspendu au-dessus de l'étrave, de manière que son faisceau soit à peu près à 3 mètres au-dessus du niveau de l'eau et qu'aucun rayon lumineux ne puisse venir frapper directement l'œil du pilote ou de la vigie de l'avant, ce qui affaiblirait leur puissance de vision. Pour faciliter cette installation, le projecteur est enfermé dans une cage en fer dans laquelle est ménagé un siège pour l'homme chargé de soigner le faisceau lumineux. Il est indispensable que cet homme soit en mesure de donner au pilote les renseignements utiles.

Tracé des projecteurs (système Dalestreri).

— On a installé à la gare de triage de Milan (Porte Simplicon) des projecteurs de lumière électrique armés de lentilles qui envoient le faisceau lumineux dans des limites parfaitement définies. Ces lentilles de projection sont supportées par un bâti en fonte solidement boulonné au plancher de la cabine dans laquelle les appareils sont installés, et qui porte en même temps une lampe à régulateur dont les charbons ont leurs pointes centrées exactement dans l'axe de la lentille. Voici comment on a opéré pour tracer la lentille:

« Étant donné un arc de cercle AM (fig. 2), au centre O duquel est le foyer, on divise le quart de cercle en 11 parties égales, et on mène les horizontales aa' , bb' , cc' , dd' ,... puis les perpendiculaires bb_1 , cc_1 ,... aux bissectrices des angles bb_1O , cc_1O ,...; si l'on suppose que deux miroirs soient inclinés perpendiculairement au plan de la figure, suivant ces lignes bb_1 , cc_1 ,... il est clair que tous les rayons lumineux émis par le foyer O se réfléchissent parallèlement à AD. Si l'on prolonge les lignes bb_1 , cc_1 ,... jusqu'à l'intersection des rayons Oa , Od ,... et si l'on fait tourner tout le système autour de l'axe AD, on engendre une série de troncs de cône, dont chaque zone jouit de la propriété réfléchissante ci-dessus indiquée, de sorte qu'on obtient un faisceau de rayons lumineux parallèles à l'axe. Si au lieu d'un faisceau parallèle on voulait obtenir un faisceau divergent ou convergent, il suffirait de tracer en conséquence les lignes bb' , cc' ,... et de faire varier la courbure de l'arc; il est évident

qu'on obtient ainsi tous les degrés de convergence et de divergence du faisceau. De même, selon que le foyer lumineux est placé à l'intérieur ou à l'extérieur de la courbure, on a un réflecteur ou un collecteur de lumière. Dans les réflecteurs de la gare de Milan, les surfaces des troncs de cône sont en métal argenté

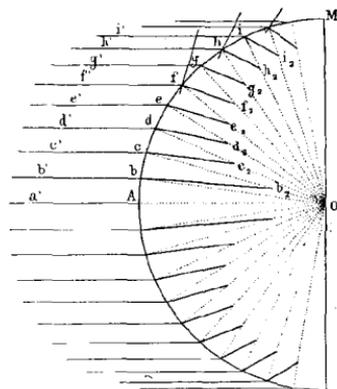


Fig. 2.

et réunies suivant les génératrices bb_1 , cc_1 ,... de manière à former une sorte de grille solide laissant passer les rayons lumineux dans l'espace compris entre deux zones successives. Ce mode de construction présente l'avantage qu'en cas d'avarie les réparations ne portent que sur une partie de l'appareil total de projection. Les lampes à arc dont on projette les rayons ont un pouvoir éclairant de 990 carcelles et une puissance de 33 ampères sous 50 volts. » (Revue générale des Chemins de fer, n° 6, année 1887.)

PROJECTILES (Recherches des). — *Chirurgie*. L'électricité a été mise, et avec succès, à contribution pour la recherche des projectiles. On a employé notamment l'EXPLOMATEUR de M. Trouvé lorsque le corps métallique étranger est accessible à la sonde, et la BALANCE D'INDUCTION de M. Hughes dans les autres cas.

PROPULSEUR. — On désigne sous ce nom les organes mécaniques servant d'intermédiaires entre le moteur qui les actionne et le fluide (eau ou air) dans lequel le système se déplace.

L'étude des propulseurs prend une importance très grande lorsque le moyen employé pour les mettre en mouvement est électrique; il importe, en effet, dans ce cas spécial, d'arriver à combiner un organe présentant le rendement le plus élevé possible et pouvant tourner à une vitesse très grande, afin d'éviter des transmissions intermédiaires qui absorbent inutilement une partie de la puissance du moteur.

Propulseurs pour bateaux. — Les propulseurs employés primitivement étaient des roues à aubes planes ou inclinées; les hélices les ont pour ainsi dire détrônées. En 1887, M. Trouvé a essayé

un nouveau propulseur dont il s'est fait le propagateur pour la NAVIGATION de plaisance : c'est la roue à auge^s coniques imaginée par M. Dupassieux (fig. 1).

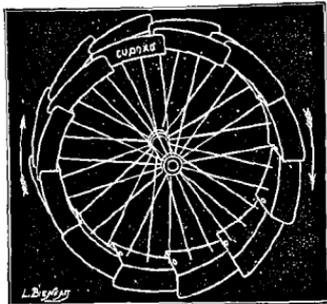


Fig. 1.

On comprend facilement, à l'aspect de ce nouveau propulseur, que les auge^s se comportent tout autrement que les aubes ordinaires à l'entrée et à la sortie

de la masse liquide. Le rendement doit évidemment en être amélioré; l'appui résulte du coincement liquide qui entre par la grande ouverture de chaque auge et sort par la plus petite.

La fig. 2 représente un BATEAU électrique dit^é de sorte qu'on puisse à volonté, suivant la profondeur de la rivière, remplacer l'hélice qui lui sert de propulseur par des roues Dupassieux. Cette substitution peut s'opérer très facilement et ne demande que quelques minutes. Les conditions ne sont plus les mêmes qu'aux moteurs à vapeur, avec lesquels on ne peut dépasser pratiquement une vitesse assez faible. Avec les moteurs électriques, au contraire, on dispose en général de grandes vitesses. D'après M. Trouvé, il est plus avantageux de conserver au propulseur (hélice) une très grande vitesse au lieu de la réduire en intercalant entre celui-ci et le moteur un mode quelconque de transmission. On sait, dit M. Trouvé, avec que rapidité augmente la résistance de l'eau à mesure qu'accroît la vitesse du corps qui s'y meut; on doit donc chercher à se rapprocher des conditions qu'offre un vis prenant son point d'appui sur un écrou solide réduire autant que possible la perte de force résultant du tourbillonnement de l'eau mise en mouvement. La grande vitesse obtenue avec les moteurs électriques oblige à réduire considérablement le p de l'hélice, condition également favorable, car résultant des forces dues à l'inertie de l'eau, agissant sur chaque élément de la surface des ailes, se ra

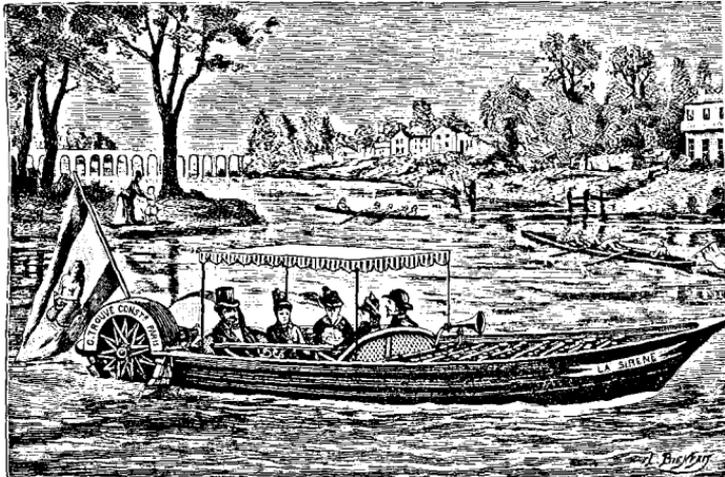


Fig. 2. — Bateau avec propulseur mû électriquement.

proche de la direction de l'axe, c'est-à-dire de la direction dans laquelle doit s'exercer l'effet utile. Il en résulte aussi pour l'eau une tendance moindre à prendre un mouvement de rotation qui fait naître un effort centrifuge, la forçant à s'échapper par le pourtour de l'hélice, ce qui, on le sait, est une cause de trépidation et de perte de force vive.

Les expériences qui ont confirmé cette manière de

voir ayant nécessité l'essai d'un grand nombre d'hélices de formes et de pas variables, M. Trouvé a été conduit à imaginer un mode de construction beaucoup plus simple que ceux qui sont en usage et qui au lieu d'exiger, comme ceux-ci, des connaissances géométriques assez étendues et une très grande habileté de main, peut, au contraire, être appliqué par tous les ouvriers. Dans un cylindre d'un diamètre

égal au moyen de l'hélice, on pratique une rainure hélicoïdale (fig. 3 [2]), opération qu'un tour à engrenages réalise aisément avec une régularité parfaite. On prend ensuite une série de tiges métalliques d'un diamètre égal à la largeur de la rainure, dans

laquelle on les implante perpendiculairement à l'axe du cylindre (fig. 3 [1]) en les pressant fortement les unes contre les autres. Les extrémités des tiges sont ensuite réunies et soudées ensemble. On réalise ainsi, sans difficulté et à peu de frais, la formation d'un

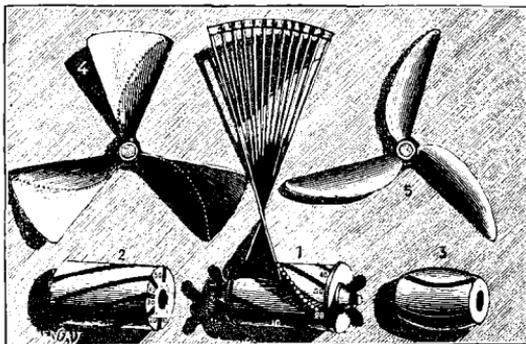


Fig. 3, montrant les différentes phases de la construction d'un propulseur pour bateaux.

hélicoïde de pas déterminé. La fig. 3 montre, pour ainsi dire pas à pas les opérations à effectuer. L'hélice représentée sous le n° 4 est le modèle qui sert à fonder l'hélice définitive n° 5.

Propulseurs aériens. — Les propulseurs à hélice ont été appliqués à la navigation aérienne, au-

trement dit à la direction des aérostats. Ces propulseurs peuvent être actionnés par un moteur à vapeur ou par un moteur électrique.

Voici le résumé des travaux faits dans cette voie depuis l'année 1881.

Expériences de MM. G. et A. Tissandier. — Le 1^{er} août 1881, M. G. Tissandier présentait à l'Acadé-

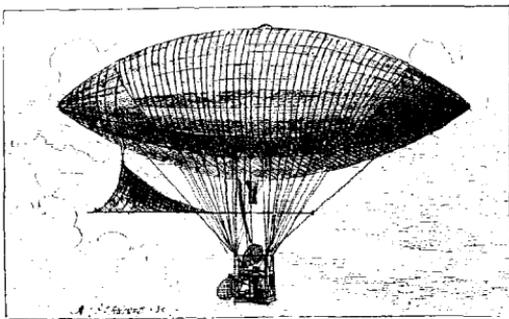


Fig. 4. — Aérostat de MM. Tissandier.

mie des Sciences une note sur l'application des moteurs dynamo-électriques à la navigation aérienne; le 22 janvier 1883, il en transmettait une seconde sur la construction d'un propulseur destiné à un aérostat allongé, dont le modèle en petit avait figuré, dès le mois précédent, à l'Exposition d'électricité. Le 8 octobre de la même année, il exécuta l'ascension qu'il préparait depuis deux ans.

L'aérostat (fig. 4), en forme d'ellipsoïde allongé, comme ceux de Giffard et de Dapuy de Lôme, avait 28 mètres de long sur 9^m.20 de diamètre équatorial et encaill 1.060 mètres. L'enveloppe, très imperméable, était gonflée d'hydrogène presque pur. Un ballonnet inférieur permettait, comme dans l'aérostat de Dapuy de Lôme, de maintenir le gonflement constant sans perdre de gaz. La nacelle en forme de cage car-

rée, extrêmement légère, portait à l'arrière le propulseur; celui-ci consistait en une hélice à deux palettes recouvertes de soie vernie à la gomme laque et était soutenu par des tendeurs en fil d'acier; le poids de cette hélice n'était que de 7 kilogrammes. Le moteur était une machine dynamo-électrique du système Siemens, à bobine longue, portant 36 faisceaux avec 4 électro-aimants et réduite au poids de 53 kilogrammes. A 180 tours par minute, il développait un travail de 160 kilogrammètres par seconde, équivalant à 4 cheval-vapeur $1/3$. Ce moteur était actionné par une pile de 24 couples au bichromate de potasse chaud, divisée en quatre compartiments, qu'on pouvait atteler séparément, et fonctionnait pendant trois heures sans affaiblissement sensible. L'aérostat pesait au total 704 kilogrammes. Il s'éleva de l'atelier d'Auteuil à 500 mètres de hauteur, et put se maintenir quelque temps contre un vent de 3 mètres par

seconde; mais les manœuvres étaient contrariées quand on voulait prendre le vent en écharpe, les mouvements de gyration que le gouvernail était impuissant à empêcher. Il aterrit sans accident Croissy-sur-Seine, après avoir, pour ainsi dire, passé pendant une heure un quart. Bien que, dans sa première tentative, la vitesse propre et la stabilité du système fussent inférieures à celles qu'avait obtenues Dupuy de Lôme, l'expérience suffisait pour montrer la possibilité d'appliquer les moteurs électriques à la navigation aérienne.

Les frères Tissandier mirent à profit les leçons de cette expédition dans la préparation d'une seconde ascension, dont nous parlerons immédiatement, bien qu'elle ait été postérieure à la première ascension des capitaines Ch. Renard et Krebs. Dans cette seconde expédition, qui eut lieu le 26 septembre 1884, l'aérostat obéit parfaitement au gouvernail complétement

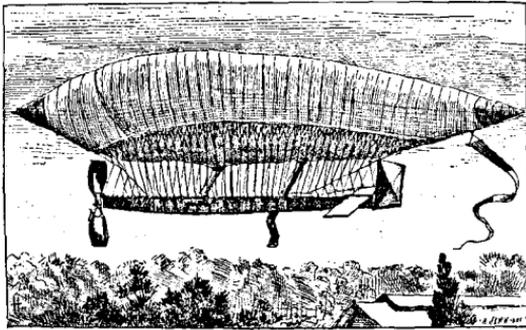


Fig. 5. — Aérostat de MM. Renard et Krebs.

reconstruit; la machine dynamo-électrique fournissait un travail de 4 cheval $1/2$ par seconde, avec une vitesse rotative de 100 tours à la minute, et imprimait au système une vitesse propre de 4 mètres par seconde, en sorte que les aéronautes purent quelque temps s'avancer lentement contre un vent de 3 mètres par seconde, à la hauteur de 400 mètres; mais la vitesse du vent, très variable, atteignant à certains moments 5 mètres, il eût été impossible de revenir au point de départ.

Expériences des capitaines Renard et Krebs. — Pendant que MM. Tissandier se livraient à ces travaux, avec leurs ressources personnelles, les capitaines Renard et Krebs préparaient, au compte de l'Etat, dans les ateliers de construction de l'École d'aéronautique militaire, établie à Chalais-Meudon, des expériences du même genre, mais avec des ressources bien plus considérables.

MM. Renard et Krebs, dit M. de Parville, ont été guidés dans leurs études par les travaux antérieurs de M. Dupuy de Lôme relatifs à la construction de son aérostat de 1876-1878; ils se sont de plus attachés à remplir les conditions suivantes: 1° stabilité de route obtenue par la forme du ballon et la direction du gouvernail; 2° diminution des résistances à la marche par le choix des dimensions; 3° rapprochement des centres de traction et de résistance pour diminuer le moment perturbateur de stabilité vorticale; 4° obtention d'une vitesse capable de résister aux vents ré-

gnant les trois quarts du temps dans notre pays.

M. le capitaine Renard a principalement étudié la chemise de suspension (qui remplace le fil), la détermination du volume du ballonnet, les dispositions qui assurent la stabilité longitudinale du ballon, les dimensions des pièces de la nacelle; il a eu l'initiative et construit une pile nouvelle, d'une puissance et d'une légèreté exceptionnelles et qui constitue une des parties essentielles du système. Cette pile est composée d'un tube d'argent platiné contenant à l'intérieur une tige de zinc, le tout baignant dans l'acide chlorochromique. M. le capitaine Krebs, le collaborateur de M. Renard depuis six ans, a de son côté étudié les détails de construction du ballon, son mode de réunion à la chemise, la construction de l'hélice et du gouvernail, le moteur électrique, calculé d'après une méthode nouvelle qui a permis d'établir cet appareil dans des conditions de légèreté inusitées.

Le ballon *la France* (fig. 5), construit d'après les résultats de ces savantes et patientes recherches, a une forme ovoïde très allongée, dont le gros bout est à l'avant et dont les deux extrémités sont effilées et pointues; en voici les principales dimensions: longueur 50 mètres, diamètre de la plus grande section 8^m.40, capacité 1.864 mètres cubes; la nacelle, allongée et d'une extrême légèreté, est construite en perches de bambou. L'hélice est installée à l'avant; le moteur peut développer une puissance de 8 chevaux $1/2$; à l'arrière, selon les prévisions des auteurs, donner

l'aérostat une vitesse propre de 7 à 8 mètres. Nous verrons que cette évaluation était exagérée. La pile pouvait être considérée comme constante pendant trois ou quatre heures. Le poids total de l'aérostat, muni de tous ses aëres, était de 4.650 kilogrammes environ, dont 435 pour la pile. Il pouvait enlever deux aérostatistes pesant ensemble 150 kilogrammes avec plus de 200 kilogrammes de lest.

On attendit un temps de calme à peu près complet pour faire la première ascension, qui eut lieu le 9 août 1885. Sans mettre en jeu toute la puissance motrice dont ils disposaient, les aérostatistes purent virer de bord, avec une inclinaison de 11° donnée au gouvernail, en décrivant un demi-cercle de 300 mètres de rayon et revenir au point de départ. M. Renard et Krebs remarquèrent, à plusieurs reprises pendant le voyage, des oscillations de 2° à 3° d'amplitude analogues au langage et qu'ils attribuaient à des courants d'air verticaux ou à des irrégularités de forme.

Le 12 septembre eut lieu une seconde expérience. La France put lutter pendant quelque temps contre un vent de 5^m,30 par seconde, mais une avarie survenue à la machine l'obligea à s'abandonner au courant, et elle alla atterrir heureusement à Vellay.

Le 8 novembre suivant, deux nouvelles ascensions furent tentées avec plein succès. Dans la première, l'aérostat put s'élever contre un vent de 8 kilomètres, ce qui représente une vitesse propre de 23 kilomètres à l'heure ou 6^m,50 par seconde (on s'aperçut dans les ascensions ultérieures que cette évaluation était un peu exagérée et devait être réduite à 6 mètres par seconde), et, décrivant un demi-cercle au-dessus de Billancourt, revint au point de départ. Dans la seconde, les aérostatistes se bornèrent à répéter les diverses manœuvres sans s'écarter beaucoup de l'atterrissage, où ils rentrèrent aisément.

Arrivés aux expériences définitives, et laissons parler M. Ch. Renard.

« Le même aérostat, dit-il dans son rapport à l'Académie des Sciences, a exécuté en 1885 trois ascensions nouvelles... Disons d'abord qu'avant de recommencer une nouvelle campagne, le ballon dut être modifié dans certaines parties. Il s'agissait en effet de combler les lacunes des essais de 1884 et d'exécuter surtout des mesures exactes de la vitesse du ballon par rapport à l'air ambiant. L'expérience nous ayant montré que pour exécuter convenablement des mesures un équipage de deux aérostatistes était insuffisant, il fallut tout d'abord alléger l'appareil. J'y réussis facilement en modifiant le mode de construction de certaines parties (ventilateurs, piles, commutateurs, voile de queue, etc.). »

La machine à 4 balais fut remplacée par une autre, sortie des ateliers du M. Gramme, mieux construite, aussi légère et n'ayant que deux balais plus faciles à vérifier et à remplacer. De plus, pour éviter les variations dans la position relative des pièces du mécanisme, résultant des déformations inévitables de la moelle et amenées des perturbations aux engrenages et des ruptures de dents, tout le train des engrenages fut suspendu à l'arbre même de l'hélice et un calage classique lui permit de se déplacer notablement sans que la transmission fût interrompue. Le refroidissement des consignes du pigeon fut assuré, même pour une vitesse de 3.500 tours, qui correspondait à une force de 9 chevaux. Enfin la pile fut encore allégée par un changement dans la composition du liquide.

« J'arrive, ajoute M. Renard, au procédé très simple, mais très exact, destiné à la mesure de la vitesse propre. Comme l'hélice est à l'avant du ballon, on ne peut songer à employer un anémomètre dont les indi-

cations seraient trop faibles; en revanche, rien ne gêne pour l'emploi d'un loch aërien.

« Je l'organisi de la manière suivante :

« Un ballon en baudruche, de 120 litres de capacité, fut rempli en partie de gaz d'éclairage, de façon à rester exactement en équilibre dans l'air. Ce ballon fut attaché à l'extrémité centrale d'une bobine de fil de soie ayant exactement 100 mètres de longueur.

« Le plus léger effort suffit à dérouler cette bobine quand on tire le fil central. L'autre extrémité du fil est enroulée autour du doigt de l'opérateur. Pour faire une mesure, on lâche le ballon, qui s'éloigne rapidement vers l'arrière et qui, arrivé à l'extrémité, produit sur le doigt qui retient le fil un choc sensible. L'instant du départ et celui du choc final sont pointés sur un chronomètre indiquant les dixièmes de seconde.

« Bien que l'effort transmis au petit ballon pendant le déroulement du fil fût très faible, il fallait en tenir compte. Des essais répétés dans un local fermé montrèrent qu'il dérivait de 7 mètres par minute ou de 0^m,117 par seconde sous l'influence de ce léger effort. Si donc on appelle t la durée du déroulement en secondes, le chemin parcouru par l'aérostat dirigé pendant l'opération du déroulement sera $100 + 0,117t$, et la vitesse sera donnée par la formule

$$v = \frac{100}{t} + 0,117.$$

Ascension du 25 août 1885. — Le ballon gonflé, on fut obligé d'attendre longtemps un beau ciel; aussi, quand, le 25 août, le temps parut favorable, le ballon notablement dégonflé ne put emporter que deux aérostatistes, les frères Ch. et P. Renard. L'hélice fut impuissante à mouvoir l'aérostat contre le vent dont la vitesse évaluée à 5 mètres à une faible distance du sol, devait être de 7 mètres environ à 250 mètres d'altitude. L'atterrissage eut lieu après un mouvement de recul très lent, mais continué, à Villacoulay. On attendit pour renouveler l'expérience un temps plus favorable.

Ascension du 22 septembre 1885. — Dans cette ascension, trois aérostatistes montaient la France : Ch. Renard, qui se réservait la manœuvre de la machine et du gouvernail; P. Renard et Dulé-Pointevin, aérostatiste civil attaché à l'établissement de Chalais. Empruntons à la note de M. Ch. Renard le récit de cette expédition et de la suivante, qui furent les dernières et firent connaître exactement l'état de la question.

« Le départ eut lieu à 4 heures 25 minutes par un temps humide et brumeux. L'hélice fut mise en mouvement et le cap dirigé sur Paris; nous eûmes d'abord quelques embarcades, mais je réussis bientôt à les éviter, et dès lors, malgré le vent, le ballon, s'engageant au-dessus du village de Meudon, traversa le chemin de fer au-dessus de la gare à 4 heures 35 minutes et atteignit la Seine à 5 heures par l'extrémité O. de l'île de Billancourt. A ce moment, nous eûmes une mesure de vitesse. Elle fut trouvée exactement de 6 mètres par seconde. Cependant le ballon, continuant sa course contre le vent, se rapprochait des fortifications de Paris. A 5 heures 42 minutes, après 17 minutes de voyage, il entra dans l'enceinte par le bastion 63. Le temps très brumeux se chargea de plus en plus, le brouillard humide nous abondait et nous forçait à sacrifier de très grandes quantités de lest. Dans ces conditions, il était imprudent de nous éloigner davantage, et le retour fut décidé. Le virage s'effectua facilement, et, favorisé cette fois par le courant aërien, l'aérostat se rapprocha de son point de départ avec une rapidité surprenante. Nous n'aperçevîmes plus Chalais, complètement caché par le brouillard, et nous dûmes nous diriger en prenant successivement, comme point de direction le pont de

Billancourt et la gare de Meudon. Onze minutes suffirent pour nous ramener au-dessus de la plaine d'atterrissage et nous faire parcourir au retour un chemin qui nous avait coûté à l'aller 45 minutes d'efforts. L'aérostat vira de bord pour tenir tête au vent, et 10 minutes plus tard la nacelle touchait le sol de la pelouse des départs. Le ballon s'était élevé à 400 mètres d'altitude seulement pendant le voyage. »

Ascension du 23 septembre 1885. — « Le lendemain, devant M. le général Campenon, ministre de la Guerre et M. le général Bressonnet, président du comité des fortifications, le ballon *la France* exécuta une nouvelle ascension, qui réussit aussi bien

que celle de la veille. On y renouvela les mesures de vitesse, et les résultats des deux journées furent concordants. L'itinéraire fut sensiblement le même que le 22 septembre. Le vent était plus faible et nous portait vers Paris. La durée du trajet fut de 17 minutes à l'aller et de 20 minutes au retour. L'atterrissage fut très facile, et le ballon revint exactement à son point de départ. Le voyage ne put pas être prolongé davantage faute de lest, l'ascension de la veille ayant fait perdre au ballon une partie de sa force ascensionnelle. »

Voici le tableau dans lequel M. Renard résume ses sept ascensions :

NUMÉROS des ascensions.	DATES.	NOMBRE de tours d'hélice par minute.	VITESSE DU BALLON en mètres par seconde.	OBSERVATIONS.
1	9 août 1884	42	4 ^m ,58	Le ballon rentre à Chalais. Avarie de machine; le ballon descend à Vélizy.
2	12 sept. 1884	50	5 ^m ,43	Le ballon rentre à Chalais.
3	8 nov. 1884	55	6 ^m ,00	Idem.
4	8 nov. 1884	33	3 ^m ,82	Vent supérieur à la vitesse propre; atterrissage à Villacoublay.
5	25 août 1885	55	6 ^m ,00	Le ballon rentre à Chalais.
6	22 sept. 1885	55	6 ^m ,00	Idem.
7	23 sept. 1885	57	6 ^m ,22	

« L'aérostat est revenu cinq fois sur sept à son point de départ.

« Les résistances mesurées, ajoute le capitaine Renard, sont beaucoup plus grandes que nous ne l'avions cru et que tout le monde ne le croyait avant nous. » En désignant par R la résistance en kilogrammes, e le travail de traction directe en kilogrammètres par seconde, par T le travail de l'arbre de l'hélice, par T' le travail aux bornes du moteur, par D le diamètre maximum en mètres, par V la vitesse en mètres par seconde, M. Renard déduit de ses expériences :

$$R = 0,0165 D^2 V^2,$$

$$e = 0,0165 D^2 V^3,$$

$$T = 0,0326 D^2 V^2,$$

$$T' = 0,0397 D^2 V^2.$$

D'après cela, il faudrait, pour imprimer à l'aérostat *la France* la vitesse propre de 10 mètres, qui suffirait pour avoir la direction dans la plupart des cas, une puissance de 31 chevaux à l'arbre de l'hélice; ce chiffre est bien supérieur à celui qu'on admettait auparavant.

Malgré cette conclusion un peu décevante, la possibilité de diriger les ballons à l'aide de moteurs électriques n'est pas moins démontrée. La résistance n'augmentant que proportionnellement au carré du diamètre, tandis que la force ascensionnelle est proportionnelle à peu près au cube du diamètre, il sera plus facile de donner la direction aux grands aérostats qu'aux petits, et la construction de ces grands aérostats ne peut plus être considérée comme une difficulté depuis le *Géant* et le ballon captif de 1878. Quant au tangage signalé par M. Renard, bien qu'il ne soit pour l'aéroplane qu'une gêne médiocre, il faudra, en ce qui concerne le plus grand soin à l'éviter, car il influe d'une façon désastreuse sur la résistance, une inclinaison de 2° ou 3° suffisant pour la tripler ou la quadrupler. Comme ce tan-

gage peut, en grande partie, être imputé au défaut de coïncidence du centre de traction et du centre de résistance que les aéronautes de Chalais ont déjà cherché à rapprocher le plus possible, il faudra peut-être tendre à les faire coïncider tout à fait. Il sera également nécessaire de créer des sources d'énergie électrique pouvant rester en action pendant un temps plus long, car deux ou trois heures ne suffisent pas pour que la direction d'un aérostat puisse rendre des services effectifs. Il n'est donc pas prouvé que l'électricité doit être forcément le moteur aérien de l'avenir.

Il faut signaler quelques tentatives intéressantes ayant eu pour objet le perfectionnement d'autres systèmes, sans toutefois réaliser de progrès décisifs. En Angleterre, on s'est appliqué à tirer parti de la méthode préconisée autrefois par Meunier, qui consistait à chercher, à différentes altitudes, des courants de directions différentes. Par exemple, si dans les régions inférieures le vent est dirigé vers le nord-ouest, et dans une région plus élevée vers le sud-ouest, en faisant pénétrer l'aérostat successivement dans ces deux courants d'air, on pourra le conduire à un point quelconque situé dans une direction intermédiaire plus ou moins voisine de l'ouest par rapport au point de départ. On explore les courants étagés dans l'atmosphère à l'aide de ballons-pilotes qui sont maintenus captifs par les aéronautes. Il est clair que l'on ne peut s'avancer en dehors de l'angle des directions des deux courants atmosphériques. Malgré cela, le capitaine J. Temple a montré, dans divers voyages aéronautiques, que la méthode peut être avantageusement utilisée.

Les moteurs empruntant l'énergie à une source calorifique ont eu aussi leurs partisans. En Russie, on a construit le grand ballon à hélice *la Rossiya*, mû par une machine à vapeur de 50 chevaux. En Allemagne, M. Wolfert a essayé d'entretenir le mouvement de l'hélice par la combustion de gaz emprunté à l'at-

rostal; M. Quirinus sub-ligne au gouvernail deux roues à aubes qui se meuvent en sens inverse.

Enfin on n'a pas complètement abandonné le système du « plus lourd que l'air ». En Russie, M. Baranowski construit une machine ailée, manée, en outre, d'une hélice et de roues, et mue par la vapeur. Cette machine doit élever deux personnes. Il convient d'attendre le résultat pour juger.

Signalons encore une expérience curieuse sur les parachute dirigeables, exécutée par le comité des ballons de l'armée anglaise d'après les calculs du savant mathématicien George Calley. Le parachute lâché par Templey à une hauteur de 250 mètres, a été dirigé contre le vent vers le point de départ situé à 3 kilomètres et il est revenu dans le voisinage de ce point.

PROTOPLASMA (du gr. *protos*, première; *plasma*, formation). — La vie se manifeste indépendamment de toute forme et résiste dans une substance spéciale à laquelle on a donné le nom de **protoplasma**. Cette substance est analogue à l'albumine, et complètement amorphe. Si l'on considère un grumeau de **protoplasma** on voit que : 1° Il est susceptible de se déformer spontanément sous l'influence des excitations extérieures, et en même temps de se mouvoir. Ainsi il marche vers la lumière. Si on examine un liquide renfermant un grand nombre de grumeaux et qu'on le fasse traverser par un courant électrique, ils s'orientent tous suivant la direction du courant. En un mot, toute action physique ou chimique exercée sur le milieu qui le contient détermine soit des variations de forme soit des mouvements. 2° Le **protoplasma** mange, digère et se développe au détriment de ses aliments : on constate, en effet, que si un globule de **protoplasma** rencontre un grain d'amidon, il se creuse une cavité au point de contact; le globule entoure le grain et celui-ci disparaît. Si le grain renferme des substances non susceptibles d'être assimilées, elles sont rejetées par un mécanisme inverse du précédent, en même temps le volume du globule augmente. 3° Le **protoplasma** se reproduit. On voit le globule primitif s'accroître constamment, puis se sectionner en d'autres globules. 4° Le **protoplasma** meurt et se décompose en matière grasse et en une matière azotée soluble douée à son tour de propriétés très remarquables au point de vue des fermentations.

PROTOSISMOGRAPHE (du grec *protos*, premier; *seismos*, choc; *graphé*, je décris). — Appareil destiné à transmettre à un enregistreur les mouvements du sol déterminés par un tremblement de terre. (V. **EXERGISTRES MÉTÉOROLOGIQUES**.)

PUISSANCE ÉLECTRIQUE. — Produit de la quantité d'électricité que peut débiter un générateur par son **POTENTIEL**.

L'unité pratique de puissance électrique est le **WATT** ou **VOLT-AMPÈRE**. C'est la puissance due à l'unité pratique d'intensité de courant (**AMPÈRE**), sous une différence de potentiel égale à une unité pratique de force électromotrice (**VOLT**).

$$1 \text{ watt} = \frac{1}{9,81} \text{ kilogrammètre par seconde.}$$

Exemple : Un courant de 350 ampères sous une tension de 100 volts a une puissance électrique de $350 \times 100 = 35.000$ watts, et peut développer par seconde un travail de 35.000 : 9,81 = 3.568 kilogrammètres. — Un courant de 175 ampères et de 200 volts aura la même puissance, puisque 175×200

= 35.000, ce qui montre qu'on peut avoir des générateurs d'égale puissance, bien que les intensités et les forces électromotrices des courants qu'ils produisent soient différentes.

On a construit des appareils appelés **WATTMÈTRES** qui donnent directement, par un simple lecture, le nombre de watts produits par seconde par un **NOTEX** électrique.

Puissance d'un courant. — *Travail par seconde de ce courant.* (V. **TRAVAIL**.)

Puissance absorbée par un conducteur. — *Travail par seconde absorbé par ce conducteur sous forme de chaleur.* (V. **TRAVAIL**.)

Puissance d'une pile. — La puissance maxima d'une **PILE** est obtenue lorsque les **RÉSISTANCES** intérieure et extérieure sont égales.

PYRO-ÉLECTRICITÉ. — M. Gauguin a désigné ainsi (du grec *pur*, feu) le phénomène consistant en ce que les deux extrémités d'un cristal de tourmaline chauffé récemment des électricités de noms contraires. Ce cristal peut ainsi être considéré comme un couple voltaïque d'une grande force électromotrice et d'une très grande résistance intérieure. En reliant par un fil conducteur les deux bouts du cristal, on obtient un courant.

La force électromotrice des différentes parties du même cristal est proportionnelle à la longueur, et les courants produits varient en raison inverse de la résistance. (V. **ÉLECTRICITÉ**.)

PYRO-ÉLECTRIQUE. — Désignation donnée aux métaux isolants, qui acquièrent des propriétés électriques sous l'influence d'une simple élévation de température. (V. **ÉLECTRICITÉ**.)

PYROGRAVURE. — Procédé imaginé par M. Manuel Périet et consistant dans l'application de la brûlure à la décoration du bois, du cuir, du verre. Pour graver ces matières on peut se servir d'une pointe de métal rouge au feu; mais on emploie avantageusement des brûleurs en platine chauffés par un courant électrique.

PYROMAGNÉTIQUE (Machine). — Machine imaginée par M. Edison, en 1887, pour transformer directement de l'énergie rendue disponible par une chute de température en **PONCE ÉLECTROMOTRICE** pouvant déterminer la production d'un courant utilisable industriellement. (V. **THERMO-ÉLECTRICITÉ** et **THERMOMAGNÉTISME**.)

PYROMÉNITE. — Nom donné par M. Forgeot à un indicateur d'incendie de son système, composé essentiellement d'un ressort qui, lorsqu'il est libre d'agir, ferme le circuit d'une pile sur une sonnerie d'avertissement et qui, en temps ordinaire, est retenu par une goupille en alliage fusible.

PYROMÈTRE ÉLECTRIQUE. — Sorte de thermomètre permettant de mesurer les températures très élevées. On a imaginé des pyromètres basés sur la variation de la **CONDUCTIBILITÉ** électrique du platine aux différentes températures. Tels sont les pyromètres de M. Siemens et d'autres savants. Mais des expériences faites sur ces appareils par M. Ch. Lauth, à la manufacture de Sèvres, il résulte que la conductibilité du platine soumis à de grandes variations de température change en même temps que la structure moléculaire du métal, de sorte que les données qu'on

obtient ne sont plus comparables au bout d'un certain temps. Il y aurait donc lieu de chercher un corps plus constant que le platine. (Consulter l'étude consacrée aux mesures pyrométriques à hautes températures, publiée dans le *Journal du Céramiste et du Châuffournier*, janvier 1887.)

PYROPHONE de M. Kastner. — Appareil musical formé d'une série de tubes en verre mis en vibration au moyen de flammes de gaz situées à leur intérieur,

comme dans l'expérience bien connue de l'harmonie chimique. Dans l'intérieur de chaque tube se trouvent deux becs de gaz mobiles; lorsqu'ils sont rapprochés, leur ensemble ne forme qu'une seule flamme et le tuyau ne vibre pas; si, au contraire, on le sépare, les vibrations se produisent. M. Kastner a imaginé d'actionner cet instrument à distance par l'électricité; l'éloignement des becs est alors obtenu par un ÉLECTRO-AIMANT, son armature correspondant à chaque tube.

QUADRUPLEX. — Système de transmission télégraphique qui permet à deux opérateurs placés à chaque bout d'une ligne de transmettre simultanément quatre dépêches, deux dans un sens et deux en sens contraire. (V. TRANSMISSION SIMULTANÉE.)

QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ. — La quantité d'électricité qui passe dans un circuit peut être assimilée à la quantité d'eau qui passe dans une conduite donnée sous pression. Cette quantité est, comme on sait, proportionnelle au temps pendant lequel elle s'écoule et à la pression qui détermine l'écoulement, et inversement proportionnelle à la résistance de la conduite.

Cette assimilation de l'écoulement de l'électricité dans un circuit à l'écoulement de l'eau dans une conduite est critiqueable; mais on y a souvent recours, parce qu'elle permet d'expliquer d'une façon commode le résultat de phénomènes qui ne sont pas tangibles.

De même que la quantité d'eau que débite la conduite se mesure en prenant pour unité le volume d'eau qui passe par un orifice d'une section 1 dans un temps 1 sous une pression 1, de même la quantité d'électricité qui passe dans un circuit donné se mesure en prenant pour unité la quantité d'électricité qui passe dans un circuit de conductibilité 1 et avec un potentiel 1. (V. POTENTIEL.)

L'unité pratique de quantité est le *coulomb* : elle représente la quantité d'électricité passant par seconde dans un circuit de 1 OHM de résistance, quand cette électricité a 1 VOLT de POTENTIEL. On peut dire aussi que le coulomb est la quantité d'électricité fournie par un courant de 1 AMPÈRE en une seconde. Elle est égale à 10 unités CGS.

Scientifiquement le *coulomb* se définit de la façon suivante :

Le coulomb est la quantité d'électricité qui, agissant sur une quantité égale à elle-même, et située à l'unité de distance, développe une force égale à l'unité.

Quantité d'électricité induite dans un circuit. — Elle est égale à la variation du flux de force (HS) qui le traverse divisée par la résistance (R) du circuit, H étant l'intensité du champ magnétique et S la section du conducteur.

Mesure des quantités d'électricité. — (V. MESURE.)

QUANTITÉ (Montage des piles en). — (V. ACCOUPLEMENT DES PILES.)

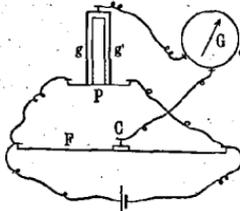
QUANTITÉ DE MAGNÉTISME. — L'unité de quantité magnétique ou *unité de pôle* est celle qui, à l'unité de distance d'un pôle semblable exerce une action égale à une unité de force. (V. AIMANT.)

QUARTZ. — Silice cristallisée, qui a la propriété de développer de l'électricité lorsqu'elle est soumise à des pressions variables. (V. PIÉZO-ÉLECTRICITÉ.)

Quet (Jean-Antoine), physicien français, né à Nîmes le 18 octobre 1810, mort le 24 novembre 1884. Élève de l'École normale supérieure, il en sortit en 1833, devint professeur de physique au collège de Grenoble, puis fut suppléant de mathématiques pures et appliquées à la Faculté de cette ville. M. Quet alla occuper, en 1835, une chaire de physique au collège de Versailles, où il enseigna la même science à l'École normale. Il fut, en outre, à partir de 1840, examinateur pour l'admission aux Écoles de marine, de Saint-Cyr et forestière. En 1849, M. Quet obtint une chaire au lycée Saint-Louis, à Paris, qu'il quitta en 1854 pour devenir recteur à Besançon. En 1856, il passa au même titre à l'Académie de Grenoble, et en 1863 il fut nommé inspecteur général de l'enseignement secondaire. Ce savant professeur s'est fait connaître par de nombreux mémoires : *Sur les Oscillations des corps flottants et les Oscillations de la mer*; *Sur les Couleurs supplémentaires de l'arc-en-ciel*; *Sur la Réflexion de la lumière polarisée à la surface des corps biréfringents*; *Sur la Teinte de l'atmosphère*; *Sur la Force coercitive du fer doux*; *Sur l'Action des électro-aimants sur l'arc voltaïque*; *Sur la Stratification de la lumière électrique*; *Sur la Diffraction de la lumière*; *Sur les Oscillations du pendule, eu égard au mouvement de la terre*; *Sur les Mouvements relatifs des corps tournants assujettis à des liaisons déterminées*, etc. Ces mémoires ont été insérés, pour la plupart, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, dans le *Journal de M. Liouville*.

RADIATION CALORIFIQUE de la peau humaine.

— Le professeur Eichhorst, de Zurich, a construit un appareil électrique destiné à mesurer les radiations calorifiques de la peau humaine dans les divers états de santé et de maladie. C'est une sorte de thermomètre électrique médical composé d'un pont de WHEATSTONE très sensible dont les deux premières branches sont constituées par deux grilles d'étain très minces g et g' séparées par une plaque épaisse en ébonite P, et les deux autres branches par un fil métallique F à curseur C. Le curseur et les deux grilles g et g' sont reliés à un GALVANOMÈTRE G et les deux extrémités du fil F sont réunies aux pôles d'une pile. Si l'une des grilles est échauffée par les radiations d'un corps quelconque, sa résistance aug-



Appareil de M. Eichhorst pour la mesure de la radiation calorifique.

ment et le galvanomètre dévie, ce qui permet de mesurer l'échauffement. On gradue l'appareil empiriquement. Cet appareil est tellement sensible que l'aiguille du galvanomètre dévie lorsqu'on place la main à 1 mètre de distance de la grille d'étain. M. Eichhorst a pu constater ainsi que lorsqu'une certaine partie de la peau est à une température plus élevée qu'une autre il n'en résulte pas que les radiations calorifiques de cette partie plus chaude soient supérieures à celles émises par la partie plus froide. Ainsi, dans un cas spécial, la température en deux points symétriques du corps était de $32^{\circ},8$ à droite, et $33^{\circ},2$ à gauche; le galvanomètre accusait cependant 22 divisions de l'échelle de plus à droite qu'à gauche. D'après ce professeur, il faudrait chercher l'explication de ce fait dans les changements d'état physique de la surface cutanée relativement aux variations de température.

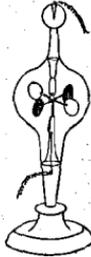
RADIATION MOLÉCULAIRE dans les lampes à incandescence. — On a remarqué que la surface inférieure des lampes à incandescence est souvent recouverte d'un dépôt de charbon, à l'exception d'une ligne définie par l'intersection de la surface de l'ampoule avec un plan passant par le filament. Le Dr J.-A. Fleming, en étudiant les conditions dans lesquelles se

produit le phénomène, a reconnu qu'on le faisait naître à volonté en faisant passer momentanément à travers les lampes un très fort courant. On peut aussi obtenir un dépôt analogue avec différents métaux : or, cuivre, argent ou platine. Le phénomène de la radiation moléculaire que nous signalons paraît analogue à la décharge électrique dans le vide étudié par Crookes.

RADIOMÈTRE. — Tube de verre rempli en forme de poire dans lequel on fait le plus parfait possible et qui contient un petit tourniquet à lame de mica ou d'aluminium. Chacune de ces lames est recouverte de noir de fumée sur une de ses faces. Lorsque cet appareil est exposé à un rayonnement lumineux ou calorifique, il se met à tourner. Il est dû à M. Crookes. (V. MATIÈRE RADIANTE et TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE, Récepteur radiophonique Meick.)

Radiomètre électrique. — Tube de verre rempli en forme de poire dans lequel on fait le vide le plus parfait possible et qui contient un petit tourniquet à lames d'aluminium, revêtues sur une de leurs faces d'une pellicule de mica. La chape sur laquelle porte l'arbre des palettes est en acier dur, et la pointe sur laquelle il pivote est reliée par un fil métallique avec une électrode de platine scellée dans le verre. Au sommet de la boule du radiomètre est scellée une deuxième électrode. Le radiomètre peut être relié à une BOBINE D'INDUCTION.

Avec cet appareil, on démontre que le courant moléculaire qui part du pôle négatif peut mettre en mouvement un obstacle léger qu'il rencontre sur sa route. Lorsque la pression dans le tube de verre n'est plus que de quelques millimètres de mercure, le courant d'induction forme sur la face métallique des disques un halo de lumière violette velleuté, tandis que la face de mica reste obscure. À mesure que la pression diminue, on voit un espace sombre séparer le halo violet du métal. À la pression d'un demi-millimètre, cet espace sombre s'étend jusqu'au verre, et la rotation commence. En continuant à faire le vide, l'espace sombre s'élargit encore et semble s'aplatir contre le verre, et la rotation devient alors très rapide. — On peut combiner l'appareil de manière à mettre en évidence la force mécanique de la matière radiante lancée du pôle négatif. Au moyen de la lanterne magique on projette sur un écran l'image des palettes. On a constaté que, dans un vide presque parfait, la matière radiante est non seulement excitée par le pôle négatif d'une bobine d'induction, mais qu'un fil porté au rouge peut la mettre en mouvement



Radiomètre électrique.

avec une force suffisante pour faire tourner des palettes inclinées.

Radiomètre de M. Baur. — Il se compose de deux feuilles d'étain minces découpées de façon à former un ruban replié plusieurs fois sur lui-même et collées sur les deux faces d'un cylindre de bois. Chacune de ces feuilles est intercalée sur l'une des branches d'un pont de WHEATSTONE. Si des rayons calorifiques viennent tomber sur l'une des feuilles, la résistance change, et le pont est parcouru par un courant dont l'intensité peut être considérée comme proportionnelle à l'échauffement de la feuille et par suite à l'intensité de la radiation calorifique. Cet instrument est plus sensible qu'une PILE THERMO-ELECTRIQUE.

RADIOMICROMÈTRE. — Instrument destiné à mesurer des rayonnements calorifiques très faibles. Cet appareil thermo-électrique, imaginé par M. Vernon-Boys, se compose d'une croix dont les bras en bismuth partent d'un noyau en antimoine. A l'extrémité de chaque bras est soudé un morceau de fil de cuivre; les quatre fils sont parallèles et forment des angles droits avec le plan de la croix. Les quatre bouts libres des fils sont soudés à un anneau en fil de cuivre parallèle au plan de la croix. Quand ce circuit thermo-électrique est pivoté sur une pointe entre les pôles d'un AIMANT permanent et qu'on fait tomber un rayon de chaleur sur le côté droit de la croix (en regardant du pôle nord de l'aimant vers le pôle sud), celle-ci oscille et ses mouvements se prolongent jusqu'à ce que la croix tourne tout à fait. Si la chaleur tombe sur le côté gauche, le mouvement cesse. Si la source de chaleur est enlevée, mais que l'on continue de faire tourner la croix par un moyen mécanique, le côté droit se refroidit, tandis que le côté gauche s'échauffe.

L'effet contraire a lieu avec une croix dont les bras sont en antimoine et le centre en bismuth. L'instrument tourne rapidement quand on approche le bout incandescent d'une allumette éteinte. Une pile thermo-électrique de ce genre dans un CHAMP MAGNÉTIQUE constitue un nouveau moteur électro-magnétique sans contacts mobiles.

D'après M. Vernon-Boys, le mouvement du circuit thermo-électrique devient aperiodique quand le champ magnétique dans lequel il se trouve a une intensité de plus de 1.000 unités. M. Vernon-Boys a construit, en utilisant la propriété que nous venons d'indiquer, une sorte de galvanomètre à réflexion composé essentiellement d'un élément thermo-électrique formé de deux fils soudés entre eux et suspendu dans un champ magnétique. Cet instrument, dont le principe appartiendrait à M. d'Arsonval (*Lum. élect.*, n° 21, t. XXIIV), remplirait le même but que le VOLONTÈRE. Il permettrait de reconnaître un accroissement de température d'un quatre-vingt-dix-millionième de degré correspondant à une force électromotrice d'environ un dix-millionième de MICROVOLT. (*Proceedings of the Royal Society*, t. XLII, p. 185, n° 283.)

RADIOPHONE. — Appareil à l'aide duquel on transforme l'énergie radiante en énergie mécanique sous forme sonore. Cette transformation peut s'effectuer directement ou indirectement, en faisant agir les radiations lumineuses sur une couche de sélénium, d'alliage de sélénium et de tellure ou de noir de fumée, placée dans un circuit renfermant une PILE et un TÉLÉPHONE.

Dans une note présentée à l'Académie des Sciences, le 9 novembre 1885, M. Cornu divise les radiophones en deux classes :

1° Ceux dans lesquels la transformation d'énergie

radiante en énergie mécanique, sous forme sonore, s'effectue *directement*. Ils comprennent eux-mêmes trois genres : les **thermophones**, où les radiations thermiques sont principalement en jeu; ces radiations sont envoyées sur une masse gazeuse enfermée dans un récipient à enveloppe transparente faisant partie de l'appareil (on peut employer la plupart des gaz et des vapeurs); les **pyrophones**, dans lesquels les vibrations sont surtout excitées par les radiations lumineuses (la vapeur d'iode et le peroxyde d'azote sont surtout sensibles à ces sortes de radiations); les **actinophones**, qui seraient excités par les radiations actiniques ultra-violettes (non visibles à l'œil), mais dont on ne connaît encore aucun exemple.

2° Ceux qu'on peut appeler *indirects*, dans lesquels la transformation finale d'énergie radiante en énergie sonore exige une ou plusieurs transformations intermédiaires.

M. G. Hell a construit un **photophone** dans lequel des radiations intermittentes agissent sur une couche de sélénium, d'alliage de sélénium et tellure ou de noir de fumée, placée dans un circuit renfermant une pile et un TÉLÉPHONE. Dans ces conditions, les radiations lumineuses produisent dans le circuit des variations d'énergie électrique d'où résultent des sons dans le téléphone récepteur. Ces appareils sont donc, à proprement parler, des radiophones indirects photo-électriques qui devraient être appelés *photo-électro-phones*.

M. Cornu a présenté deux nouvelles espèces de **radiophones indirects** du genre thermique, c'est-à-dire provenant des transformations d'une énergie radiante thermique initiale.

Le premier, appelé *thermophone*, est constitué par un microphone dont les supports des charbons sont fixés à une lame ou à un diaphragme mince de sapin verni, et reliés à un téléphone récepteur, avec ou sans bobine d'induction dans le circuit de la pile. En exposant ce diaphragme à l'action de radiations intenses, ce qu'il est facile de faire en intercalant entre la source lumineuse et le diaphragme une roue percée d'ouvertures et animée d'un mouvement de rotation, on entend dans le téléphone des sons dont la hauteur varie d'une façon continue avec la vitesse de la roue. On observe de plus que le nombre des vibrations est égal à celui des intermittences des radiations.

Le second appareil, appelé *thermo-magnétophone*, est encore plus simple : il consiste en un simple téléphone sur la plaque en fer duquel on produit des radiations intenses et intermittentes. On entend dans un récepteur des sons analogues aux précédents.

M. Mercadier fait observer que, toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité des effets produits peut être augmentée :

1° En enfilant la surface des diaphragmes en bois ou en fer;

2° En multipliant, en quelque sorte, l'effet de la surface absorbante enfilée par celle d'une couche d'air, mise ainsi en vibration dans une cavité fermée par une lame de verre ou de mica, et disposée en avant du diaphragme;

3° En augmentant l'intensité de la source radiante. Faibles avec la lumière oxydrique, les effets sont assez intenses avec la lumière électrique et plus encore avec la lumière solaire.

Les nouveaux récepteurs radiophoniques à sélénium à grande résistance constante, de M. E. Mercadier se composent de deux lames de laiton sur chacune desquelles est enroulée une feuille de papier d'amiante. On juxtapose ces lames et on les fixe à l'aide de deux petites traverses en ébonite ou en ivoire; puis, on se servant d'une vis à double filet, on croise sur

le bloc ainsi constitué deux fils de laiton ou de platine formant deux spirales parallèles séparées par un intervalle constant d'environ 0m,001. Les bouts des spirales sont fixés aux deux lames de laiton. L'appareil étant ensuite chauffé à une température convenable, on promène à la surface un crayon de sélénium; ce métal fond et se dépose entre les deux fils en couche suffisante; le tout est placé dans une boîte fermée par une lame de verre. La résistance électrique d'un appareil de ce genre construit par M. Du-hoseq, en 1881, pour le laboratoire de l'École polytechnique est de 300.000 ohms environ. Depuis cette époque le radiophone a servi à de nombreuses expériences et a conservé sa résistance et sa stabilité. En faisant varier le pas de la double vis qui sert à enrouler les fils en hélice, on fait varier à volonté la résistance des appareils, mais on ne peut guère la diminuer au-dessous de 100.000 ohms.

Les récepteurs radiophoniques à grande résistance sont destinés surtout à fonctionner dans le cas où le circuit extérieur de la pile qui les anime est lui-même très résistant. En produisant des sons radiophoniques dans un téléphone ordinaire intercalé dans un circuit comprenant une pile de quelques couples Daniell et l'un de ces récepteurs, l'intensité de ces sons n'est pas sensiblement altérée lorsqu'on introduit dans le circuit des résistances de 10.000 à 20.000 unités. On obtient aussi de bons effets sur une ligne télégraphique de 800 kilomètres de longueur. M. Mercadier se propose d'appliquer des appareils de ce genre à la télégraphie multiple à grandes distances.

(Académie des Sciences, 31 octobre 1887.)

RADIOPHONIE. — Nom donné par M. Mercadier à un phénomène qui peut s'énoncer ainsi : « Un rayon lumineux, rendu intermittent, qui tombe sur une plaque mince appliquée contre l'oreille, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc et d'un cornet acoustique, rend un son dont le nombre de vibrations est égal à celui des intermittences du rayon lumineux dans une seconde. »

M. Mercadier a résumé comme suit ses recherches sur la radiophonie :

1° La radiophonie ne paraît pas être un effet produit par la masse de la lame réceptrice vibrant transversalement dans son ensemble, comme une plaque vibrante ordinaire ;

2° La nature des molécules du récepteur ne paraît pas avoir un rôle prédominant ;

3° Le phénomène semble résulter principalement d'une action exercée à la surface du récepteur ;

4° Le phénomène dépend directement de la quantité des radiations reçues par le récepteur ;

5° Les sons radiophoniques sont produits principalement par les radiations des grandes longueurs d'ondes dites calorifiques.

Le phénomène serait donc, comme dans le RADIOMÈTRE de Crookes, une transformation de l'énergie thermique des radiations.

Ramsden (Jesse), constructeur d'instruments à l'usage des sciences, né à Halifax (comté d'York) le 8 octobre 1730, mort le 5 novembre 1800. C'est en reproduisant par la gravure des instruments de mathématiques qu'il se prit de goût pour les sciences, et son ingénieux esprit, après qu'il eut reçu des leçons du célèbre opticien Dollon, ne tarda pas à se signaler par le perfectionnement d'instruments déjà existants, comme le théodolite, le pyromètre, le baromètre appliqué à la mesure des altitudes, le sextant et la découverte d'instruments nouveaux, en particulier de la machine à diviser. C'est lui qui construisit les

télescopes des observatoires de Dublin, Blenheim, Mannheim, Gotha et Paris, ainsi que les cercles marins de Padoue et de Vilna. Il a inventé la MAGNÉTIQUE électrique à plateau. Depuis 1786, il avait été nommé membre de la Société royale de Londres.

RANGE des récepteurs électro-magnétiques. Expression anglaise qui signifie « échelle de travail d'un récepteur électro-magnétique ».

Si on désigne par i l'intensité du courant le plus faible qui est nécessaire pour actionner un appareil télégraphique et par I le courant le plus intense compatible avec sa sécurité, on a :

$$\text{Range} = \frac{I}{i}$$

La valeur du range doit être le plus élevée possible. Or, le range d'un récepteur électro-magnétique est une fonction décroissante de la vitesse.

M. Schwendler a fait des expériences à ce sujet. Il a trouvé que 430 contacts par minute correspondait à une vitesse de 20 mots de 5 lettres par minute, le mot Paris étant pris pour type. Le range d'un RELAIS POLAIRE Siemens travaillant à cette vitesse ne peut pas dépasser 4. Le relais en question permet de travailler avec des courants variant entre 2 et 8 milli-ampères sans changer le réglage. (*Höpsi tater.*)

RANKINE (John-William-Macquorn), physicien né à Edinbourg le 5 juillet 1820, mort le 24 décembre 1872. Il étudia successivement à l'Académie d'Ayr à l'école supérieure de Glasgow et à l'université d'Edinbourg; dès 1836 et 1838 il obtint deux médailles pour une étude sur la théorie ondulatoire de la lumière et une autre sur les méthodes d'investigation en physique. Après s'être occupé de construction de chemins de fer, il fut nommé en 1855 professeur de génie civil et de mécanique à l'université de Glasgow, fonction qu'il conserva jusqu'à sa mort. Il est peu de questions scientifiques sur lesquelles il n'ait émis quelques idées nouvelles; mais il doit surtout sa célébrité à ses études sur la thermo-dynamique. Reprisant les travaux de Mayer, Colding, Joule, Helmholtz, il a introduit dans la science la considération de l'énergie comme mesure des quantités de chaleur (énergie totale et énergie potentielle) et créé l'*Energétique*, dont la mécanique rationnelle ne constitue qu'un cas particulier. On lui doit encore des études sur le mouvement des vagues, la résistance et la propulsion des navires, etc. Rankine, qui se plaisait aux hautes spéculations théoriques, possédait en même temps un admirable sens pratique; il cherchait toujours une application utile de ses découvertes. C'est ainsi que la théorie mécanique de la chaleur lui a permis d'apporter des sensibles perfectionnements aux machines à vapeur. Outre de nombreux mémoires, il a publié : *Manuel de Mécanique appliquée* (1848); *Manuel de Machines à vapeur et autres moteurs primitifs* (1852); *Manuel de Génie civil* (1852); *Règles et Tables usuelles* (1866); *Manuel de Mécanique et de construction des moulins* (1859) et, en collaboration avec Napier, Barnes et Watt : *Construction des navires, théorique et pratique*.

RAPPEL. — Les rappels sont des appareils permettant d'attaquer sans intermédiaires des postes qu'il faudrait faire prévenir par d'autres stations au prix d'une grande perte de temps.

Ces appareils fonctionnent par Inversion de courant, c'est-à-dire que, suivant le sens du courant positif ou négatif, envoyé par le poste qui attaque, on

met en marche ou en laisse au repos une sonnerie placée au poste qu'il s'agit de faire rentrer dans le circuit de la ligne.

Rappel par inversion de courant avec aimant. — L'état employé pour ses bureaux municipaux du rappel par inversion composé essentiellement d'un électro-aimant et d'un aimant terminé à l'un de ses pôles par une palette mobile de

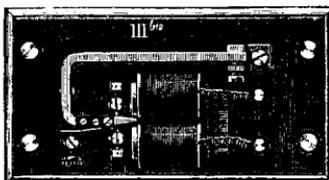


Fig. 1.

Rappel par inversion de courant avec aimant. (Plan.)

fer doux à laquelle il communique son aimantation (fig. 1).

Cette palette peut osciller entre les deux noyaux de l'électro-aimant, lesquels sont prolongés de manière à être très rapprochés l'un de l'autre.

L'électro-aimant du rappel ainsi constitué se trouvant

embroché sur la ligne qui réunit les deux postes considérés, la palette ne bougera pas tant que ces deux postes enverraient des courants d'un certain sens; mais s'ils envoient des courants de sens contraire, l'aimantation des noyaux des bobines de l'électro-aimant se trouvant modifiée, la palette mobile sera déplacée et viendra au contact d'un butoir; le circuit d'une pile locale sera fermé et fera tinter une sonnerie. Des inverseurs permettent aux postes transmetteurs de disposer à volonté les pôles de leur pile, selon qu'ils veulent ou communiquer entre eux ou attaquer le poste intermédiaire muni du rappel.

L'appareil est très simple; malheureusement il est basé sur l'emploi d'un aimant. Or, la charge accidentelle des conducteurs aériens en temps d'orage étant, comme on le sait, en raison directe de leur longueur et de leur section, il en résulte que cet aimant, forcément de petit volume, peut se trouver polarisé en sens inverse ou même désaimanté. On a cherché, en conséquence, à construire des rappels sans aimants.

Rappel par inversion de courant sans aimant. — En 1878, MM. Grassi et Beux, agents de l'administration des Postes et Télégraphes français, ont imaginé un **rappel-sonnerie** par inversion de courant sans aimant qui est ingénieux, mais d'un réglage difficile, attendu que, si le courant de la pile locale est toujours le même, celui qui est envoyé par les postes en correspondance est essentiellement variable.

MM. G. Dumont et Cabaret ont modifié le rappel

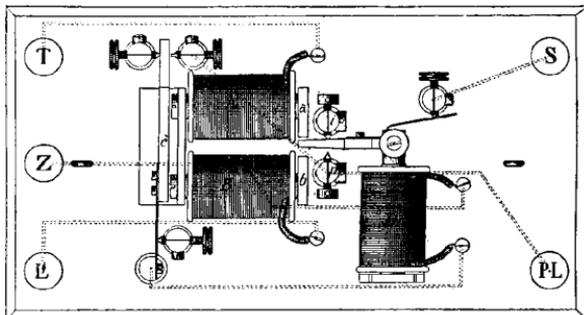


Fig. 2. — Rappel par inversion de courant sans aimant, système G. Dumont et Cabaret. (Plan.)

Grassi et Beux de façon à faire disparaître cet inconvénient. Ce modèle de rappel, ayant les mêmes dimensions extérieures que le rappel à aimant de l'administration des Postes et Télégraphes, peut être facilement substitué à ce dernier. Ce nouvel appareil est en service régulier dans plusieurs postes télégraphiques de la Compagnie de l'Est et donne d'excellents résultats. En voici la description, d'après : G. Dumont, *Traité pratique d'Électricité appliquée à l'exploitation des chemins de fer.*

L'appareil se compose, ainsi que le montre la fig. 2 :

1° De deux électro-aimants solitaires A et B, dits de *ligne* à une seule bobine, à un seul noyau et parallèles entre eux; les deux bobines sont enroulées en

sens contraire. Les quatre pôles déterminés sont accouplés par deux de noms contraires. Deux de ces pôles agissent sur une armature ordinaire c, comme dans les appareils télégraphiques en usage; les deux autres a et b sont prolongés de manière à se trouver à une très petite distance l'un de l'autre.

2° D'un électro-aimant à une seule bobine et à un seul noyau, dit *local*, D. L'un des pôles déterminés dans cet électro-aimant n'est pas utilisé. A l'autre extrémité du noyau s'articule une palette de fer doux qui constitue le second pôle et qui peut osciller entre les deux noyaux prolongés des électros de ligne a et b.

Supposons cet appareil installé dans un poste télégraphique intermédiaire, et embroché, c'est-à-dire

les lignes de gauche et de droite reliées aux bornes L et T (fig. 3). Si, par exemple, le poste correspondant de gauche envoie un courant positif, ce courant traversera le rappel et ira chercher la terre dans le poste correspondant de droite. Son passage dans les bobines A et B aura deux effets :

1^o Attraction de l'armature c, qui viendra au contact du butoir placé à côté de la bobine A et fermera le circuit de la pile locale sur l'électro-aimant D, ce qui déterminera dans la palette mobile un pôle toujours de même nom ;

2^o Polarisation des extrémités a et b des noyaux des électros de ligne.

Si la palette mobile est aimantée en sens contraire du noyau a, cette palette ne sera que plus énergiquement maintenue contre le butoir i, et le poste intermédiaire ne ressentira aucun effet. Mais, si le poste de gauche envoie un courant négatif, la polarité du

noyau a et de la palette mobile sera intervertie, la palette, repoussée par a et attirée par b, viendra en contact du butoir p et fermera le circuit de la pile locale sur la sonnerie du poste.

La fig. 3 indique le montage partiel de trois postes successifs munis de rappels sans aimant et de commutateurs-inverseurs (du modèle décrit page 4). Dans sa position normale, le commutateur inverse met en communication électrique : la ligne à la MANIPULATEUR de l'appareil Morse, le pôle positif de la pile locale avec la borne correspondante même manipulateur et le pôle négatif de la pile à la terre. Dans ces conditions, si l'on fait jouer le manipulateur, le courant envoyé sur la ligne sera positif et si le montage des rappels du poste intermédiaire et du poste extrême d'arrivée est convenablement établi, le rappel de ce dernier poste sera seul fluencé. Mais si l'on vient à changer la position

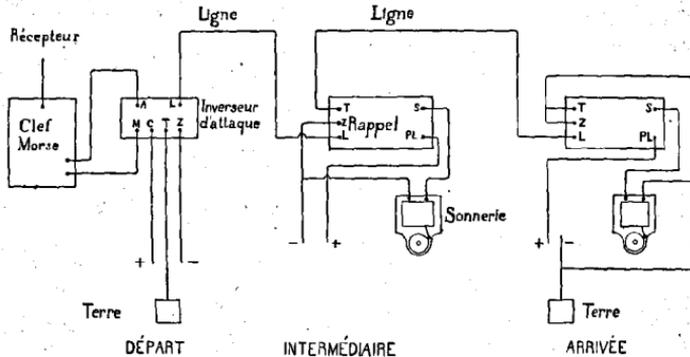


Fig. 3. — Schéma du montage partiel de trois postes consécutifs munis de Rappels sans aimant.

commutateur-inverseur, on met en relation le pôle négatif de la pile locale avec la ligne, et le pôle positif avec la terre : un courant parcourt alors la ligne, agit sur le rappel du poste intermédiaire et va chercher la terre dans le poste extrême d'arrivée, à travers le rappel de ce dernier poste, qu'il ne fait pas fonctionner.

Le poste intermédiaire ayant répondu à l'attaque qu'il a reçue et ayant coupé la ligne, on peut procéder à la transmission qui s'effectue au moyen du courant positif, ce qui est indifférent, puisqu'alors ce courant prend la terre au poste intermédiaire et qu'il n'a plus à actionner d'appareils polarisés.

Le poste extrême d'arrivée à sa pile normale montée en négatif, mais les effets qui viennent d'être décrits se reproduisent de la même manière si les attaques arrivent de ce dernier poste.

Grâce à la disposition adoptée pour les inverseurs, on évite les erreurs d'employés qui pourraient, après s'être servis de la même manière de le remettre dans sa position normale.

Autres systèmes de Rappels. — Lorsqu'il n'y a que deux postes en correspondance, les rappels que nous venons de décrire suffisent ; mais le problème se complique lorsqu'il s'agit de rappeler l'un quelconque d'une série de postes desservis par un même fil, en s'imposant la condition de n'appeler que le poste avec lequel on veut correspondre.

On a imaginé une quantité d'appareils répondant ce besoin, nous citerons ceux de M. Wartmann, de M. Queval, de M. Callaud, de M. Moulinol, de M. Lemothe, de M. Bellanger, de M. Bablon, de M. Bizo de M. Martorey, de M. Amiot, de M. Guéz, de M. Ailhaud, de M. Daussa, de M. Caël. On en trouvera la description dans le tome III des *Applications de l'électricité* de Du Moncel.

Le plus pratique et le plus simple est celui de M. Caël. Il consiste en principe à introduire dans les postes intermédiaires une sonnerie ou un pantalon à faible résistance ayant besoin pour fonctionner d'un intensité de courant beaucoup plus forte que celle qui est nécessaire pour actionner la sonnerie de postes extrêmes.

Rappel de M. Amoric. — M. Amoric, ancien employé de l'administration française des Postes et Télégraphes, a imaginé en 1885 un rappel dont voici la description, d'après une note communiquée par M. Napoli :

« Le rappel de M. Amoric se compose d'un mouvement d'horlogerie, dont le braillet K à double denture (fig. 4) actionne deux mobiles M et M'. Le premier de ces mobiles est une roue d'échappement semblable à celle du récepteur à cadran de Bréguet, et le deuxième opère son évaluation en trente secondes environ ; ils sont maintenus à la position de repos

par deux pièces métalliques Rr et $R'r'$ fixés sur un arbre H pouvant osciller sur deux vis v et v' .

« Derrière l'appareil se trouve fixé un aimant, dont un des pôles N polarise l'armature L d'un électro-aimant E . Cette armature est également fixée sur l'arbre H , dont elle commande les oscillations; elle est maintenue entre les deux pôles de l'électro par deux vis i et i' , au moyen d'une pièce horizontale X que porte l'arbre H (fig. 5).

« Sur l'axe du mobile M , une roue en ivoire F porte un nombre de dents égal au nombre de postes à desservir; entre deux de ces dents vient se fixer un

contact métallique, porté par la pièce V . Ce contact est placé à la première dent dans le premier poste, à la deuxième dent dans le deuxième poste, à la troisième dent dans le troisième poste, etc.

« Sur l'axe du mobile M' , une roue, également en ivoire, F' porte un contact métallique fixe, en communication avec la masse de l'appareil et destiné à compléter le circuit d'une pile locale dont les deux pôles sont amenés aux deux bornes g et g' , et sur le parcours de laquelle on intercale une sonnerie tremblante.

« Les goupilles d , e et e' ont pour but de faire

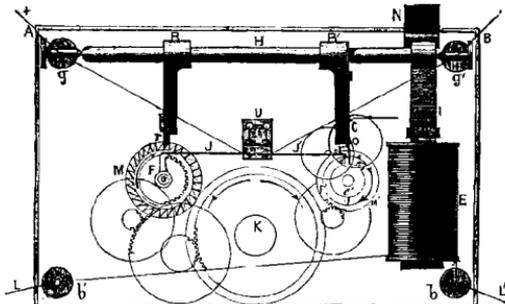


Fig. 4. — Vue intérieure du Rappel général de M. Americ. (Élévation.)

prendre au mobile M' les différentes positions qui seront indiquées plus loin; elles viennent, à cet effet, buter contre le ressort v de la pièce Rr' ; ce ressort, qui porte une petite goupille C , arrête alors le volant h du mouvement.

« En U sont fixés, sur une pièce en ivoire, deux

ressorts J et J' , communiquant aux bornes g et g' ; les extrémités de ces ressorts frottent sur les roues en ivoire F et F' . Les bornes b et b' communiquent à l'entrée et à la sortie du fil de l'électro-aimant.

« L'appareil présente extérieurement deux cadrans Z et Z' (fig. 6). Sur le premier, deux aiguilles servent

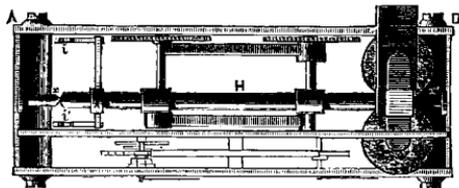


Fig. 5. — Vue intérieure du Rappel général de M. Americ. (Plan.)

à indiquer, l'une le poste appelé, l'autre le poste appelé; ce cadran est, à cet effet, subdivisé en deux séries d'autant de chiffres qu'il y a de postes à desservir. Sur le cadran Z' une aiguille sert à régler la manœuvre des appels.

« Voici comment s'opère cette manœuvre : supposons que le poste 7 veuille appeler le poste 3. Il fait d'abord sept contacts avec son manipulateur (quel qu'il soit) et les deux aiguilles du cadran Z viennent ensemble au chiffre 7 de la première subdivision; cette première série de contacts a pour but d'indiquer le poste appelé. Lorsque le mobile M' , qui s'est mis en marche à la première émission, est arrêté par la goupille c' à la position y , une came z (fig. 7) sou-

lève une pièce T basculant en O et dont l'extrémité u vient s'engager entre les dents de la roue f_1 et maintient une des deux aiguilles du cadran Z au chiffre 7. On fait alors, toujours avec le même pôle de la pile, le nombre de contacts nécessaire pour amener l'aiguille restée libre sur le chiffre 3 de la seconde subdivision. Cette seconde aiguille indique le poste appelé et au moment où l'aiguille du cadran Z' sera à la position S , le circuit de la pile locale sera fermé; mais dans le poste n° 3 seulement.

« En effet, dans tous les postes, les aiguilles des deux cadrans ont pris les positions indiquées par la fig. 6, et dans tous les appareils la roue en ivoire F' présente son contact métallique sous le ressort J' ;

mais, seul, l'appareil du poste 3 présente son contact de la roue F sous le ressort J, et c'est donc seulement dans ce poste que le circuit entre les bornes *g* et *g'* est complètement fermé par la masse de l'appareil. L'appel sera donc entendu au poste 3 seulement, et la sonnerie fonctionnera jusqu'à ce que l'employé ait répondu. Le poste appelé entre sur la ligne du côté appelant et met le côté libre à la terre en intercalant une résistance approximativement égale au côté occupé.

« Par suite d'une disposition spéciale de l'axe du mobile M' (disposition indiquée fig. 8), lorsque les appareils se trouvent sur la position de sonnerie, l'arbre H ne peut osciller que si l'on renverse le courant. Cette même disposition empêche également les appareils de fonctionner sous l'influence d'un courant

contraire dans toute autre position que celle de sonnerie; les erreurs de contacts qui pourraient être commises par les employés ne peuvent donc pas être préjudiciables au fonctionnement régulier des appareils.

« Pendant l'échange d'une correspondance en deux postes, les appareils des postes intermédiaires qui restent ainsi sur position d'appel, indiquent à ces postes qu'ils ne doivent pas couper la communication. Lorsque la correspondance est terminée, le poste appelé rétablit la communication, le poste appelant envoie un seul contact de courant contraire, et les appareils de la ligne reviennent au zéro de manière suivante :

« L'armature étant à ce moment attirée en sens inverse, le ressort *i*, qui lui sert de point de rep

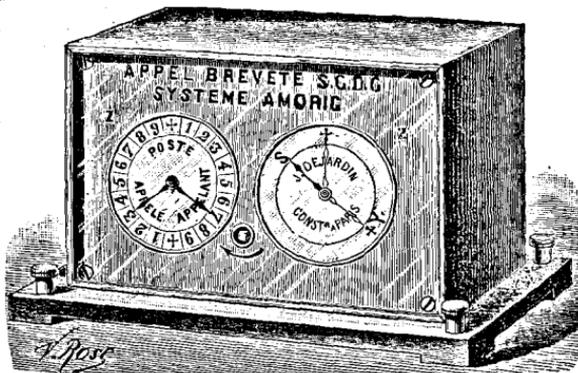


Fig. 6. — Vue extérieure du Rappel général de M. Amorik.

pendant les appels, cède sous la pression et la pièce R abandonne complètement la roue d'échappement; mais elle vient alors buter contre une goupille percée par la roue elle-même et la remet au zéro, ainsi que l'aiguille indiquant le poste appelé. En même temps,



Fig. 7.

le mobile M', également dégagé par le contact du courant contraire, revient à sa position de repos, et la came *x* laissant retomber la pièce T, la roue *f* est dégagée et un spiral ramène à la croix l'aiguille indiquant le poste appelant.

« L'appareil peut fonctionner, soit directement, sous l'influence des courants de ligne (on l'intercale alors simplement sur le fil de ligne dans chaque poste), soit en local, au moyen de relais mis en ligne, suivant les besoins des différentes installations. »

On peut reprocher à cet appareil ingénieux la diffi-

culté du réglage dans chaque poste, résultant de ce fait que le courant dans une ligne télégraphique subit des pertes et que ce courant ne peut pas être considéré comme ayant la même intensité aux deux extrémités d'une ligne très longue. Il serait intéressant de

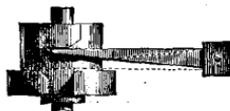


Fig. 8.

faire des expériences pour vérifier si les résultats obtenus sont aussi bons sur une ligne de grande longueur que sur une ligne de faible longueur.

Rappel général de M. Claude. — M. Claude a imaginé en 1886 un rappel analogue au précédent, mais disposé différemment et dont le caractère distinctif réside dans l'emploi d'un relais à armure très élevée, ce qui permet de l'appliquer sur des lignes d'une grande longueur.

Le rappel général Claude se compose de deux récepteurs à cadran analogues à ceux du télégraphe

bréquet et réunis dans une même boîte. Sur l'une figure l'indication *poste appelé*, sur l'autre, l'indication *poste appelé*. Les deux circonférences portent la série naturelle des nombres jusqu'au chiffre 15 inclusivement et une croix au haut du diamètre vertical (fig. 10). A l'intérieur, les relations entre les diverses pièces conductrices destinées à constituer les circuits dépendent de la position des deux aiguilles.

Chaque poste est muni d'un de ces appareils et d'un RELAIS très sensible qui, d'après le nombre et le sens des courants de ligne, ferme le circuit d'une PILE LOCALE sur le rappel général, amène les aiguilles dans la position voulue et fait fonctionner la sonnerie et le récepteur du poste cherché.

On voit donc que tout marche sous l'action d'une pile locale, le relais seul est embroché sur la ligne.

La fig. 9 représente une vue intérieure du rappel général en élévation; deux cylindres d'ébonite E et D garnis de cames métalliques en relief sont solidaires des aiguilles, sur chacun d'eux reposent trois ressorts doubles portés par trois points. Ces cylindres, en tournant, soulèvent ou laissent retomber les ressorts, dont le jeu, en raison des dispositions adoptées, établit des communications par l'intermédiaire de contacts inférieurs ou supérieurs.

Un mouvement d'horlogerie composé d'un barillet moutour et de quatre mobiles tend constamment à faire tourner les cylindres à cames; le dernier mobile entraîné par chacun des cylindres est un pignon sur l'axe duquel sont montés en équerre deux bras d'acier (XY, X'Y') qui remplacent la roue d'échappement habituellement employée dans les récepteurs Bréquet. Cette disposition a été adoptée pour réduire au mini-

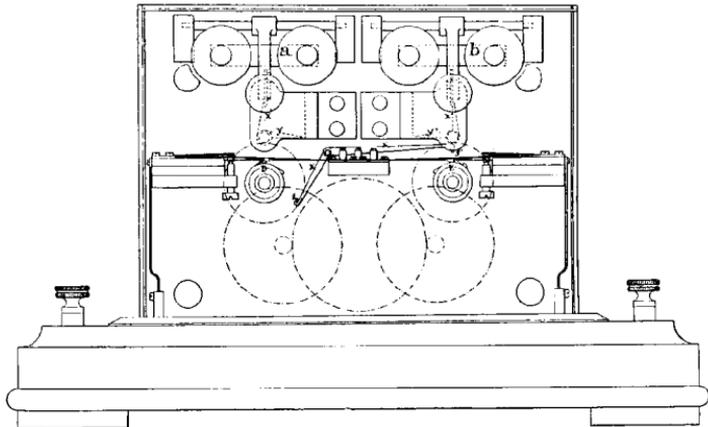


Fig. 9. — Vue intérieure du Rappel général Claude. (Élévation.)

mum les frottements produits par le soulèvement des ressorts doubles par les cames; en effet la période de soulèvement dure pendant les trois quarts de la révolution de ces bras d'acier, qui décrivent le dernier quart lorsque les ressorts sont complètement levés et qu'il n'y a plus d'effort à faire. Les bras sont situés dans deux plans parallèles dont la distance (0m,0006) correspond à la course de la fourchette d'échappement soumise à l'influence d'un électro-aimant (a et b). Chaque émission et interruption du courant local (déterminé par l'action du poste expéditeur sur les relais) dévie les bras X et Y (ou X' et Y') et permet une révolution complète du pignon muni d'un nombre de dents tel qu'il laisse tourner d'un angle équivalent à une division du cadran le mobile précédent portant le cylindre à cames. Le poste de départ peut donc faire tourner les cylindres du nombre de divisions déterminé à l'avance pour chaque poste récepteur. Des bornes placées sur le socle de l'appareil permettent d'y amener les fils de raccord.

(On trouve en la description du relais au mot RELAIS, *Relais galvanométriques*.)

Le schéma fig. 10 représente la disposition et les

relations des appareils dans un poste télégraphique Morse; on y distingue les communications du *rappel général* et du *relais*, ainsi que la façon de les raccorder avec un récepteur, un PERMUTATEUR et deux manipulateurs (en réalité les deux manipulateurs sont montés sur le même socle; le manipulateur B, qui ne sert pas à transmettre, est réduit à sa plus simple expression, c'est presque un poussoir d'appareil).

Avant de démontrer les effets que vont produire les émissions de courants passant à travers les relais, il faut considérer que ces effets sont les mêmes dans tous les rappels de la ligne; mais ils se manifestent plus ou moins tardivement, c'est-à-dire suivant un plus ou moins grand nombre d'émissions, selon les numéros des postes qui veulent correspondre. Ainsi, par exemple, l'appel du poste n° 3 par le poste n° 7 exige 5 émissions positives et 5 négatives; l'appel du poste n° 7 par le poste n° 3 exigerait au contraire 7 émissions positives et 5 négatives; l'appel du poste n° 2 par le poste n° 1 n'exige que 2 émissions positives et 1 négative. On conçoit d'ailleurs que, les ressorts interrupteurs placés à l'intérieur des rappels étant tous disposés de la même façon, c'est simple-

ment la répartition des cames sur les cylindres qui détermine les différentes combinaisons.

Remarquons aussi immédiatement que le manipulateur A sert aux émissions positives d'appel ainsi qu'à la transmission, et le manipulateur B aux émissions négatives d'appel et de remise à la croix.

Supposons tous les postes d'une même ligne au repos : les aiguilles de tous les cadrans sont par con-

séquent sur la croix : toute émission de courant positif sur la ligne actionnera le relais de chaque poste et ce relais fermera le circuit de la pile locale H sur les bornes v' ; le courant de cette pile passera par le contact V du relais, de là au contact t' du rappel par l'intermédiaire de t , touchera s' , parcourra l'électro-aimant b et reviendra en a au second pôle de la pile; il aura pour effet de faire tourner d'une di-

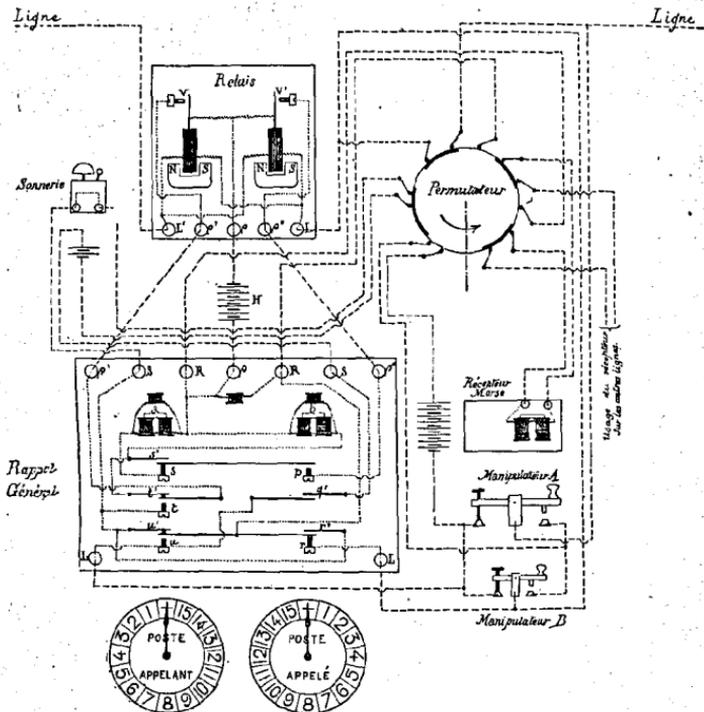


Fig. 10. — Schéma indiquant le montage d'un poste Morse avec Rappel général Claude.

vision le cylindre E (fig. 9). Un courant négatif n'aurait eu aucune action sur le rappel, car le relais aurait établi le contact de la pile locale H en V , c'est-à-dire dans la direction de v' qui est en relation avec la vis p isolée du ressort placé au-dessus.

Si on lance un deuxième courant positif, les effets décrits plus haut se reproduisent, le cylindre E tourne encore d'une division et l'aiguille *poste appelé* arrive sur le numéro 2 du cadran; on pourra donc, en émettant un nombre convenable de courants positifs, amener les aiguilles de tous les cadrans *poste appelé* sur la division que l'on désire. Pendant le mouvement du cylindre E les cames auront agi sur les ressorts et : 1° auront permis l'accès de l'électro-aimant a dans

tous les rappels au courant local déterminé par une émission négative (chemin H, t , V , v' , p , s , a , t , H); 2° auront effectué dans le rappel du poste cherché *seulement* la préparation au fonctionnement de la sonnerie, fonctionnement qui sera possible dès que l'aiguille *poste appelant* aura avancé d'une division. Toutefois, la transmission télégraphique ne pourra s'opérer que lorsque le poste qui attaque aura *émit*, au moyen du manipulateur B, le nombre de courants négatifs nécessaire pour amener les aiguilles des cadrans *poste appelant* sur son propre numéro. Un nombre trop faible ou trop considérable d'émissions négatives donné par le poste appelant n'établit pas dans son propre rappel le circuit du manipulateur A

de transmission; il est impossible de manipuler avec l'appareil B, puisqu'à la suite de quelques émissions supplémentaires on aurait tout remis à la croix et que dans cette position, ainsi que nous l'avons vu plus haut, les courants négatifs n'ont plus aucune action sur le rappel. C'est ainsi qu'après toute transmission sur le poste appelant, au moyen de contacts négatifs produits par son manipulateur B, remettra tout en place et permettra aux autres postes de la ligne de faire les nouvelles combinaisons nécessaires pour les correspondances qu'ils auront à échanger.

Il nous faut signaler en passant une disposition très ingénieuse de l'appareil Claude qui, au moyen d'un levier coté K et d'une goupille *g* placée sur le mobile du cylindre D (fig. 9), permet aux courants négatifs de faire actionner l'électro-aimant *é* lorsque l'aiguille du cadran *poste appelant* se trouve entre le chiffre 15 et la croix; les ressorts et les cannes permettent l'établissement des circuits nécessaires dans cette position, qui se trouve supprimée automatique-

ment par la goupille *g'* dès que le cadran *poste appelé* a son aiguille sur la croix; à ce moment la goupille *g'* soulève le levier K qui dégage la goupille *g*, et l'aiguille *poste appelant* termine le mouvement commencé en venant à se placer complètement devant la croix. Cette disposition spéciale était nécessaire, car il ne faut pas perdre de vue que lorsque les aiguilles sont placées pour la transmission télégraphique au lieu au moyen du *courant positif*, il est indispensable que ce courant *n'ait plus aucune action sur le rappel*, autrement il détruirait les combinaisons réalisées; il fallait donc absolument faire usage du courant négatif pour la remise au repos des *deux cadrans*.

Rappel de MM. Maicho et D. Tommasi.—MM. Maicho et D. Tommasi ont imaginé un rappel applicable à la TÉLÉGRAPHIE ou à la TÉLÉPHONIE. Il se compose de deux électro-aimants fixés à la suite l'un de l'autre sur un socle. A chaque extrémité de ce socle se trouvent deux petites colonnes supportant l'axe de l'armature

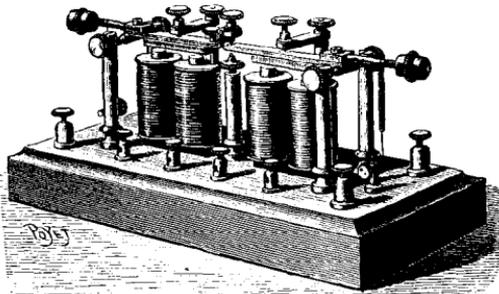


Fig. 11. — Rappel de MM. Maicho et D. Tommasi

de l'électro-aimant correspondant (fig. 11). La résistance de chaque armature à l'action de son électro-aimant est constituée par un ressort à boudin accroché au levier extérieur de l'armature et par un contrepoids mobile sur la partie filéée du levier. L'amplitude des oscillations des armatures est limitée pour l'électro-aimant qui constitue la première résistance du poste (celui de gauche dans le dessin), d'abord par une vis de position placée au-dessus et au milieu de la monture du barreau de fer doux ou armature, puis par une vis d'arrêt placée vers l'extrémité de cette monture et qui vient porter sur la seconde bobine; pour l'électro-aimant qui constitue la deuxième résistance (celui de droite) la première de ces vis existe seule. Le contact entre les deux armatures peut s'effectuer par une vis spéciale qui traverse l'extrémité repliée de la monture de l'armature de l'électro-aimant de gauche; à l'aplomb de cette vis se trouve un autre contact sur lequel peut s'appuyer la monture de l'armature de l'électro-aimant de droite; dans ce cas les deux armatures cessent d'être en contact grâce à la vis d'arrêt de la première. Tous ces organes peuvent être réglés. Les quatre bornes placées aux angles du socle servent à mettre l'appareil en circuit ou en dérivation. Les petites bornes reçoivent les fils de la FILE LOCAL et de l'appareil télégraphique ou téléphonique. Lorsque les appareils doivent être placés en circuit tous les

électro-aimants ont la même résistance; il n'en est plus ainsi quand ils sont montés en dérivation. La résistance des armatures à l'action des électros est réglée de telle sorte que chacune d'elles ne peut être attirée que si son électro-aimant est traversé par un courant d'un potentiel déterminé; et en outre la disposition de l'appareil est telle que, si la première armature (gauche) seulement est attirée, la communication s'établit entre le poste appelé et le bureau d'appel, tandis qu'au contraire si les deux armatures de l'appareil sont attirées en même temps, leurs effets se neutralisent au point de vue des contacts, c'est-à-dire mécaniquement, et le courant passe au poste suivant. Ces différences dans la circulation résultent de ce que: lorsque la première armature s'abaisse seule la vis qui la termine s'abaisse sur la seconde; et de ce que celle-ci s'éloigne de cette vis aussitôt qu'elle-même est attirée, pour venir en contact avec la vis de la petite colonne centrale. Supposons, par exemple, que les résistances des armatures des postes I, II, III... d'une ligne aient été réglées pour des courants de un et deux, deux et quatre, quatre et six daniell, respectivement. Si on lance dans la ligne un courant de deux daniell, ce courant surmontera les résistances des armatures des deux électro-aimants du poste I et la résistance de l'armature du premier électro-aimant du poste II. Le poste I ne sera pas appelé, tandis que le

poste Il sera mis en communication avec le bureau d'appel; en même temps l'apparition d'un signal prévient tous les autres postes que la ligne est occupée.

Ce système est ingénieux, mais il a le défaut d'être basé sur l'emploi de courants de potentiels différents. Or, dans le cas de lignes longues et mal isolées, un courant d'un certain potentiel au départ arrive dans un poste placé sur la ligne avec un potentiel qui varie suivant l'état de la ligne, suivant l'état du temps, etc. de sorte qu'un rappel réglé pour fonctionner par un temps sec peut très bien ne plus fonctionner lorsque le temps est humide, et réciproquement.

Rappels dits Sonneries d'urgence. —

La Compagnie du chemin de fer du Nord emploie des rappels dits **SONNERIES D'URGENCE** pour avvertir les employés de l'envoi par l'un des postes correspondants d'un appel auquel ils doivent répondre immédiatement et toute affaire cessante. (V. **SONNERIE.**)

Raynaud, ingénieur électricien, directeur de l'École de télégraphie, né en 1843, mort à Paris le 11 janvier 1888. Il fit d'excellentes études au collège du Puy, et ensuite au lycée de Marseille; après une seule année de préparation, il entra à l'École polytechnique à 16 ans, limite d'âge inférieure. Il en sortit dans les premiers, et fut nommé élève ingénieur des Télégraphes. Sa carrière dans le corps des Télégraphes fut brillante; longtemps chef du service technique, il avait succédé à Blavier comme directeur de l'École supérieure de télégraphie. Il s'occupa particulièrement de la pose des câbles dans la Méditerranée, sur les côtes de France et de Bretagne. Ses connaissances spéciales le faisaient demander par les gouvernements étrangers; c'est ainsi qu'il installa des câbles dans l'Adriatique pour l'Italie, et celui de Tanis à Marsala. En 1870, il posa, au mois d'août, le câble de Paris à Rouen dans la Seine; il le répara en septembre, sous le feu des Prussiens; sa belle conduite lui valut la croix de chevalier de la Légion d'honneur au titre militaire. Quoique docteur en sciences, Raynaud faisait du droit à temps perdu; il obtint même le grade de licencié. La série de ses travaux scientifiques est considérable; ce fut lui qui signala le premier les études des Anglais sur les **UNITS ÉLECTRIQUES**; il publia une traduction du *Traité de Physique* de Gordon. Électricien de premier ordre, il examinait toujours les inventions de télégraphie, à cause de ses connaissances techniques spéciales. Raynaud fut encore membre du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer, membre du Congrès de 1884 à l'Exposition d'électricité, à laquelle il avait pris une part des plus actives. En 1887, Raynaud fut nommé membre du Comité technique d'électricité à l'Exposition universelle de 1889, enfin membre de la commission de l'histoire rétrospective du travail et des sciences anthropologiques, où il devait faire l'histoire rétrospective de l'électricité.

RÉACTION. — *Electrothérapie.* D'une façon générale, on appelle réaction le phénomène physiologique par lequel un organe répond à une excitation. Ce phénomène est toujours une manifestation de l'activité propre à l'organe excité. Celui-ci donne une excitation motrice s'il s'agit d'un nerf moteur, une contraction s'il s'agit d'un muscle, une impression sensitive pour un nerf de la sensibilité générale, une impression sensorielle pour les organes des sens, etc. On conçoit à priori que si ces organes viennent à être altérés dans leur texture ou dans

leurs connexions, leur réaction doit différer de qu'elle serait à l'état normal, d'où l'importance à réactions comme élément de diagnostic. L'électricité fournit des moyens commodes de produire des excitations graduées, et les réactions dites électriques sont les plus étudiées. Les plus intéressantes beaucoup sont celles des nerfs et des muscles. Bien que la question en elle-même ne touche que par un point au cadre de ce dictionnaire, nous croyons devoir la résumer sans trop de briveté, parce qu'elle jusqu'à présent elle a été traitée d'une façon si incomplète dans la plupart des ouvrages français.

Voyons d'abord comment se comportent les nerfs moteurs et les muscles à l'état normal. Si l'on emploie la disposition indiquée (V. **POLAIRE (Méthode)**) et qu'on l'électrode excitatrice soit placée sur le point d'excitation d'un nerf (V. **POINTS MOTEURS**), voici ce qu'on constate en faisant varier la direction et l'intensité du courant et en comparant l'effet des ouvertures et fermetures : la contraction que l'on peut obtenir le plus facilement, c'est-à-dire avec le courant le plus faible, a lieu lorsque l'électrode excitatrice est négative et au moment où l'on ferme le circuit. Ensuite, en augmentant le nombre de coupes, on voit d'autres contractions se produire aussi bien à la fermeture qu'à l'ouverture; mais pour que cela soit possible, l'électrode doit être positive. Enfin, en prenant un courant encore plus fort, on peut obtenir avec l'électrode négative une contraction à l'ouverture. Mais alors le courant est difficilement supportable. D'ailleurs, dans cette répétition de l'épreuve avec une augmentation progressive du courant, les contractions déjà obtenues se renforcent et passent de la secousse simple à la contraction tétanique.

Cette description, un peu difficile à suivre à la lecture, est habituellement résumée en symboles par les auteurs allemands. Nous empruntons à l'ouvrage de M. Erb le tableau suivant :

Formule normale des réactions.

1 ^{er} degré. (courant faible.)	2 ^e degré. (courant moyen.)	3 ^e degré. (courant fort.)
KSZ.	KSZ'.	KST.
	ASZ.	ASZ.
	AOZ.	AOZ.
		KOZ.

Les lettres sont les initiales de mots allemands : K et A sont pour *kathode* et *anode*, S pour *fermeture*, O pour *ouverture*, Z secousse ou *contraction*, T *contraction tétanique*. Les accents indiquent le renforcement de la contraction. Il n'y a rien là de compliqué; les seules lettres qui ne soient pas les mêmes qu'en français sont P et le Z. M. Vigouroux est d'avis de conserver cette notation, quelle que soit la langue que l'on écrit. Il donne pour raison que les médecins qui s'occupent de ces matières très spéciales doivent lire des ouvrages français, allemands, anglais, italiens, etc., et que l'uniformité de notation épargnerait au lecteur des transpositions fastidieuses. La question est d'ailleurs très secondaire, bien qu'on ait voulu lui donner de l'importance.

Ce qui précède s'applique au courant galvanique. Pour le faradique, chaque courant induit provoque une contraction isolée.

La formule des réactions est exactement la même (à l'état normal) pour les nerfs que pour les muscles. Il serait trop long d'expliquer comment cette formule s'accorde avec celle trouvée par les physio-

logistes en opérant directement sur le nerf dénudé. Cela posé, l'exploration électrique des nerfs et des muscles consiste simplement à faire sur eux la vérification de la formule normale. Toute dérogation à cette formule constituant un fait morbide. Ces dérogations ou anomalies peuvent être de deux espèces : la réaction peut être anormale sous le rapport de la quantité ou de la qualité.

Quantitativement, l'excitabilité peut être augmentée ou diminuée. On l'apprécie d'après le degré de courant nécessaire pour obtenir une contraction minima. Un nerf est plus excitable qu'un autre lorsqu'il n'exige pour provoquer une contraction égale qu'un courant plus faible que cet autre.

En comparant sous le rapport quantitatif l'excitabilité faradique de deux nerfs ou de deux muscles pris soit dans les deux moitiés du corps, soit chez deux sujets, on s'exposerait à de graves erreurs si on ne tenait pas compte de la résistance. Quelques auteurs, en donnant les chiffres relatifs à ces comparaisons ajoutent, dans cette vue, l'indication galvanométrique fournie par le courant d'un certain nombre de couples traversant la région explorée.

L'excitabilité faradique est mesurée par la distance en millimètres des bobines.

Quant à l'excitabilité galvanique, on la mesurait naguère par le nombre de couples employés. Maintenant l'habitude est à peu près généralement établie d'indiquer la valeur du courant en MILLI-AMPÈRES.

Ces comparaisons quantitatives fournissent quelques données utiles; mais il est facile de voir que dans beaucoup de cas elles doivent manquer de certitude.

Les variations *qualitatives* sont beaucoup plus importantes. Pour en donner une idée, nous prendrons le cas où elles sont portées au plus haut degré. Ce cas type est ce qu'on appelle « la réaction de dégénérescence ». On l'observe dans certaines paralysies qu'elle caractérise. En voici les traits principaux. Si on cherche à vérifier la formule normale on constate que, 1^o le nerf n'est excitable ni galvaniquement ni faradiquement; 2^o le muscle n'est plus excitable faradiquement; il l'est encore galvaniquement; 3^o ses réactions galvaniques sont altérées, au double point de vue de la quantité et de la qualité. — *a* Comme quantité il y a augmentation ou diminution de l'excitabilité. — *b* Comme qualité, l'ordre dans lequel se succèdent les réactions polaires dans le muscle normal à mesure que l'on augmente l'intensité du courant n'est plus le même dans le muscle en voie de dégénérescence; c'est-à-dire le muscle dont les éléments histologiques subissent un processus particulier de substitution graisseuse et de disparition. Au lieu d'être la première et la plus facile, la contraction cathodale fait défaut. C'est l'action excitatrice de l'ANODE qui est dominante, soit à l'ouverture, soit à la fermeture du circuit. On a même très facilement la contraction cathodale d'ouverture, presque impossible à obtenir dans l'état sain. En même temps que ce renversement de la formule, on observe des changements dans la forme de contraction. Au lieu d'être instantanée, en forme d'éclair, énergique, elle est tardive, lente, faible, paresseuse.

Tels sont les traits essentiels de la réaction *complète* de dégénérescence. Ils se résument en ces trois points : 1^o nerf inexcitable par les deux courants; 2^o muscle inexcitable faradiquement, mais 3^o excitable galvaniquement avec modifications quantitatives et qualitatives.

Les anomalies de réaction ne se présentent pas toujours avec ce degré d'évidence. La réaction de dégénérescence peut être incomplète ou mixte. En dehors

de ces deux types, complet et mixte ou partiel, on peut observer toutes les formes intermédiaires.

La forme mixte ou moyenne diffère de la forme complète en ce que l'excitabilité du nerf n'est plus abolie et que le muscle répond à l'excitation faradique, tandis que ses réactions galvaniques sont plus ou moins altérées.

M. R. Vigouroux a constaté que, dans la forme mixte, les modifications dans les résultats de l'excitation polaire existent souvent aussi bien pour le courant d'induction que pour le courant galvanique. Pour l'un comme pour l'autre, c'est à l'anode que la contraction est la plus facile.

Nous sommes obligés d'omettre les particularités qui peuvent se rencontrer dans ces anomalies. En voici une pourtant, à titre d'exemple : Un muscle peut cesser d'être excitable galvaniquement tout en conservant son excitabilité faradique. (*Adankiewicz.*)

Cette étude des réactions à l'état pathologique constitue la plus grande part de ce qu'on appelle « l'électro-diagnostic ». On aura sans doute remarqué qu'il est fondé exclusivement sur l'action physiologique des courants galvanique et induit. Cela tient à ce que, jusqu'à ces derniers temps, ce sont les seuls qui aient été admis par l'électrothérapie classique. Le Dr R. Vigouroux, à qui on doit la restauration de l'électrisation statique, a constaté ce fait intéressant que des muscles peuvent avoir perdu leur excitabilité faradique et galvanique et réagir cependant sous l'influence électrique. Il recommande en conséquence d'ajouter aux deux modes usuels d'exploration des paralysés celui de la *réaction franklinienne* (tel est le nom qu'il a proposé).

Il serait beaucoup trop long d'exposer les causes d'erreur qui viennent compliquer les recherches de ce genre et les moyens de les éviter. L'essentiel, si l'on veut être correct dans l'interprétation des résultats, est de ne jamais perdre de vue les conditions physiques et physiologiques dans lesquelles on opère.

Il est impossible aussi d'entrer dans la discussion de la valeur clinique de ces diverses réactions et de l'utilité qu'elles offrent pour faire reconnaître le siège et la nature des lésions dans les paralysies. Nous dirons seulement et avec regret que ces notions si utiles sont encore loin d'être courantes. C'est que pour les mettre à profit il faut avoir une expérience très grande et une connaissance très familière de faits appartenant à la physique, à l'anatomie, à la physiologie, à la pathologie, conditions qui, dans les habitudes médicales actuelles, peuvent difficilement se trouver réunies.

RÉCEPTEUR. — Appareil servant à recevoir les dépêches de toute nature. (V. TÉLÉGRAMME, TÉLÉPHONE.)

RÉCEPTION. — Action de recevoir une dépêche. — Se dit aussi de l'action consistant à traduire les signaux télégraphiques lorsqu'ils sont composés de signes conventionnels.

RECHARGEUR. — Recharger ou Replenisher de M. W. Thomson. — Petite machine électro-statique d'induction, enfermée en général à l'intérieur de ses électromètres absclus ou à quadrants, dans une atmosphère constamment sèche, condition indispensable à son fonctionnement. Cette machine sert à maintenir constant le potentiel de l'aiguille ou d'un plateau de l'électromètre, et est toujours jointe à une AIGUILLE servant à constater la constance du potentiel.

Théoriquement, le rechargeur se compose de deux armatures cylindriques AA', BB' en communication avec

Les conducteurs que l'on veut maintenir chargés (Fig. 1); des ressorts métalliques a et b sont fixés à l'intérieur de ces armatures avec lesquelles ils communiquent; deux pièces α , β , portant également des frotteurs à ressort, en relation entre elles par un fil métallique, sont placées dans des ouvertures pratiquées dans les cylindres AA' et BB'. Enfin deux armatures métalliques portées par des bras isolants tournent autour d'un axe O et chacune d'elles vient successivement toucher les quatre ressorts numérotés 1, 2, 3, 4. (Ces armatures ne sont pas représentées sur la Fig. 1, elles décrivent une circonférence marquée en traits ponctués.)

« Considérons une de ces pièces, dit M. Geriel, dans son *Traité pratique d'Électricité*, et supposons qu'elle commence par venir en contact avec le ressort a . Quel que soit son état antérieur, elle sera ramenée à l'état neutre, car elle se trouve à l'intérieur d'un conducteur AA' et sa charge doit se porter

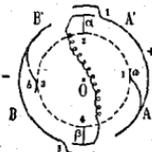


Fig. 1. — Vue schématique du Rechargeur. (Geriel.)

à la surface. Cette pièce arrive en 2, mais le système est soumis à la double influence des pièces AA' et BB', influence qui a pour effet d'amener 2 à posséder une charge négative et à être électrisé positivement. La pièce mobile, au contact de 2, se charge négativement et arrive avec cette charge négative à la position 3 en contact avec le ressort b . Elle se trouve là dans l'intérieur du conducteur BB', elle se décharge et la tension négative sur BB' augmente d'autant. Cette pièce ramenée à l'état neutre parvient en 4, se trouve en contact avec le ressort a et se charge positivement, car, sous la double influence des pièces AA' et BB', a est électrisé positivement. Enfin la pièce arrivant au contact du ressort a sera ramenée à l'état neutre, mais en augmentant la charge positive sur AA'. Ainsi, après un tour, les choses se retrouvent dans le même état qu'au départ, avec cette seule différence que les tensions de AA' et de BB' ont augmenté. Une nouvelle révolution produirait un effet analogue et en continuant à faire tourner la pièce mobile on fera croître la tension sur AA' et sur BB' jusqu'à ce que les pertes inévitables et qui croissent avec la tension deviennent égales aux charges apportées par la pièce mobile.

Nous avons reproduit cette description parce qu'elle permet de se rendre un compte très exact du fonctionnement de l'appareil rechargeur.

Rechargeur et Machine électro-statique de M. Humbolt. — Le replenisher présente deux sortes d'inconvénients; il complique la construction des électromètres, et les observateurs sont obligés de quitter de temps en temps les appareils en expérience pour venir mettre l'œil à la loupe afin de constater si le POTENTIEL reste constant et de mettre en mouvement le rechargeur si cela est nécessaire. C'est pour y remédier que M. Mercadier a substitué au replenisher de M. Thomson une petite machine électro-statique à frottement de M. Humbolt, simplifiée et modifiée de façon à donner de très petites quantités d'électricité à un potentiel relativement élevé et rendue réversible

comme le replenisher de Thomson, c'est-à-dire pour suivant le sens de sa rotation, augmenter ou diminuer le potentiel sur un conducteur en communiquant métallique avec elle.

La machine se compose d'un plateau formé de deux disques d'ébonite mince collés l'un contre l'autre et qu'on a appliqué sur l'un d'eux une série de pecceteurs en élimant portant chacun un petit appendice aboutissant sur la circonférence extérieure du plateau (Fig. 2). En C est un ressort collecteur relié

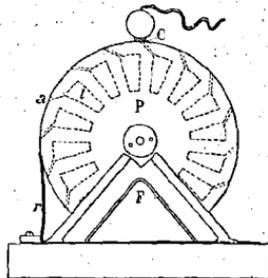


Fig. 2.

conducteur que l'on veut porter et maintenir à un potentiel déterminé. Des frotteurs F, ayant la forme d'un V renversé et un ressort r en contact avec la circonférence du plateau complètent l'appareil qui se prête sur un électromètre le même effet que le replenisher de M. W. Thomson. Il suffit de faire décrire une petite fraction de tour au plateau pour maintenir d'un temps ou temps la charge que l'on désire.

La machine est reliée à une JAUGE ÉLECTROSTATIQUE genre Thomson. Les deux points servant de repères dans cette jauge sont remplacés par deux tiges verticales entre lesquelles est tendu un fil; l'extrémité du levier qui équilibre la plaque mobile de la jauge placée dans l'anneau de garde, porte au fer à cheval entre les branches duquel est tendu un cheveu. L'ensemble des deux tiges du fer à cheval et des fils parallèles (fil de la jauge et cheveu) sont projetés au moyen d'une lentille sur un verre dépoli placé au-dessus de la machine. Cet écran, ainsi que la machine, étant à portée de l'observateur, ce dernier peut entretenir sans se déranger la constance du potentiel de l'électromètre; il faut que les images du fil et du cheveu coïncident.

RECTIFICATION des alcools. — Procédé électrolytique employé industriellement pour la désinfection des phlegmes et des alcools de mauvais goût. (V. ÉLECTROLYSE, Applications industrielles.)

RÉFRACTION DE L'ÉLECTRICITÉ. — En 1881, M. Alfred Tribe a présenté à la Société royale de Londres un travail dans lequel il démontre que l'électricité, comme la lumière, la chaleur et le son, est susceptible de présenter le phénomène de la réflexion.

Quand un courant traverse un ELECTROLYTE entre deux ÉLECTRODES parallèles et de grandeur égale à la section de l'électrolyte, le mouvement moléculaire produit se fait suivant une direction perpendiculaire à la surface des électrodes. M. A. Tribe a pensé que

si l'électrolyte était composé de deux milieux de conductibilité différente, la direction du mouvement électrique serait déviée, comme l'est un rayon lumineux, au passage d'un de ces milieux dans l'autre. Pour vérifier l'exactitude de cette idée, il est recouru à une méthode dont le principe est le suivant : quand, dans une cuve électrolytique en activité, on place longitudinalement entre les électrodes une plaque métallique qui ne touche pas ces électrodes et n'est pas en communication avec la pile, cette plaque devient le siège d'actions semblables à celles produites par les électrodes. L'ion électro-positif se distribue sur la portion de la plaque voisine du pôle (+) et l'ion électro-négatif sur la portion voisine du pôle (-). Les parties sur lesquelles se portent les ions sont parfaitement limitées et le centre de la plaque est complètement exempt de tout dépôt.

Si on électrolyse, par exemple, une solution de sulfate de cuivre à l'aide d'électrodes d'argent, le cuivre

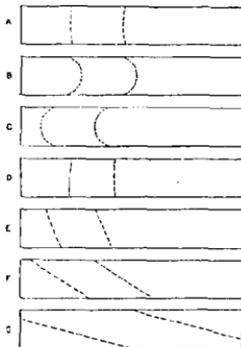


Fig. 1.

se dépose naturellement sur l'électrode négative, tandis que l'électrode positive se recouvre plus ou moins de peroxyde d'argent. Une plaque d'argent placée entre les électrodes se recouvrira d'un côté de cuivre et de l'autre de peroxyde d'argent, et il suffira d'un temps très court pour que le phénomène soit sensible. Ce temps minimum dépend de l'intensité du courant, des dimensions de la plaque et de la concentration du liquide.

Mais, quelle que soit la durée de l'immersion de la plaque dans l'électrolyte, la distribution des dépôts est toujours la même pour une même position de la plaque. L'étendue des dépôts varie, au contraire, avec la température, la dilution, l'intensité du courant. La distribution des ions varie en outre, toutes choses égales d'ailleurs, avec la position de la plaque intermédiaire, que M. Tribe a nommée *analyseur*.

Si, dans un champ électrolytique homogène (c'est-à-dire dans lequel la grandeur des électrodes soit égale à la section de l'électrolyte), on place l'analyseur perpendiculairement aux électrodes, on observe toujours que les dépôts sont identiques sur ses deux faces, aussi bien quand elles sont horizontales que lorsqu'elles sont verticales. Dans ces deux cas, les bords des dépôts sont parallèles, comme on le voit en A (faces verticales) et en D (faces horizontales) [fig. 1].

M. Tribe donne à cette forme de distribution des dépôts le nom de *distribution parallèle*.

Si les faces de l'analyseur sont placées horizontalement tandis que ses côtés ont un certain angle avec la perpendiculaire aux deux électrodes, c'est-à-dire quand l'analyseur a ses côtés obliques et ses faces parallèles au mouvement électrique, les dépôts ont leurs lignes de démarcation obliques aux côtés de l'analyseur, et l'obliquité de ces lignes augmente avec l'angle que l'analyseur fait avec la perpendiculaire aux électrodes. Dans tous les cas cependant, les lignes de démarcation sont parallèles entre elles et, par conséquent, perpendiculaires à la direction du mouvement électrolytique (E, F, G, fig. 1).

Dans le cas, au contraire, où les faces de l'analyseur sont obliques à cette direction, les dépôts se comportent différemment. A l'extrémité de l'analyseur tournée vers l'électrode positive, et du côté de cette électrode, l'ion positif se dépose avec une ligne de démarcation nettement convexe; sur l'autre face, l'ion positif se dépose en moins grande quantité et sa ligne de démarcation est concave. A l'autre extrémité, la ligne de démarcation de l'ion négatif est convexe sur la première face considérée B (fig. 1) et concave sur l'autre face C. Dans toute la fig. 1 le côté gauche est celui des ions positifs et le côté droit celui des ions négatifs. Il est à remarquer que les ions négatifs occupent toujours sur l'analyseur une plus grande étendue que les positifs.

On voit donc que l'emploi de l'analyseur constitue un moyen de déterminer, dans un milieu électrolytique quelconque, la direction du mouvement électrique. Si on place l'analyseur de différentes façons dans ce milieu, mais toujours avec ses faces verticales, et qu'on observe la distribution des ions, la direction du

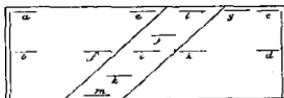


Fig. 2.

mouvement électrolytique sera parallèle à la position de l'analyseur pour laquelle on obtiendra une distribution parallèle telle que A (fig. 1). On pourra aussi déterminer d'avance les courbes des lignes de démarcation pour différentes inclinaisons de l'analyseur sur la direction du courant, et ensuite, dans chaque expérience, déduire cette direction de la courbe obtenue.

Pour constater, à l'aide de cette méthode, l'existence d'une réfraction électrique, M. Tribe a procédé expérimentalement selon le principe suivant : dans un milieu électrolytique homogène, placer, à des angles variables avec la direction électrique, un nouveau milieu de conductibilité différente et étudier ensuite, à l'aide de l'analyseur, la direction du mouvement électrique dans les deux milieux.

L'appareil dont il s'est servi, représenté en plan (fig. 2), se compose d'une cuve électrolytique où sont fixés, à égale distance des électrodes, deux cloisons poreuses parallèles. (Ces cloisons poreuses étaient d'abord en papier parchemin.) On remplit les compartiments extrêmes de la cuve d'une solution concentrée et la partie médiane d'une solution à 1 % de sulfate de cuivre. Sur des analyseurs, successivement placés longitudinalement dans la ligne centrale joignant les électrodes, on obtint toujours une distribution parallèle, excepté dans la partie comprise entre les cloisons poreuses, où la courbe de démarcation

de la distribution des ions indiquait que le mouvement électrique faisait un certain angle avec sa direction dans les parties extrêmes de la cuve.

La difficulté de maintenir les lames de parchemin tendues les fit bientôt remplacer par des plaques de porcelaine poreuse; on obtint alors les résultats suivants. Les analyseurs *a*, *b*, *c*, *d*, placés à 0^m.002 des électrodes, indiquèrent une distribution parallèle; *e*, *f*, *g*, *h*, placés à 0^m.002 des cloisons, présentèrent une disposition parallèle, mais avec une légère tendance à s'incurver. Ce léger défaut de parallélisme n'a pas lieu avec les diaphragmes en papier parcheminé et est dû, sans doute, à ce que la diffusion est plus grande avec la terre poreuse, et qu'il n'y a pas alors une séparation bien nette des deux milieux. L'analyseur *i*, placé au centre de la partie médiane, présente une distribution non parallèle très prononcée. La courbure des lignes de démarcation indiquait que la direction du mouvement électrique s'était déviée de 30°, et la position des ions démontrait que cette direction s'était rapprochée de la normale à la surface de séparation. Enfin, la symétrie de la courbe montrait que le plan de réfraction était le même que le plan d'incidence; *j* et *k* donnèrent presque le même résultat que *i*; *l* et *m* indiquèrent une déviation beaucoup moins grande.

L'expérience fut ensuite renversée, et le liquide le moins concentré placé entre les diaphragmes poreux. Les résultats furent analogues, si ce n'est qu'après la réfraction la direction du mouvement électrique s'écarta de la normale à la surface de séparation.

En augmentant la densité du liquide placé entre les diaphragmes et en maintenant constamment dans le reste de la cuve une solution de sulfate de cuivre à 5 %, la déviation augmenta en même temps que la densité. Le résultat fut inverse avec une solution concentrée entre les diaphragmes et des solutions de plus en plus denses des deux côtés.

Enfin, en faisant varier l'inclinaison des deux diaphragmes et par suite l'angle d'incidence du mouvement électrolytique, l'angle de déviation diminua en même temps que l'angle d'incidence.

Dans ces expériences, les analyseurs étaient placés avec leurs faces verticales et parallèles à la direction du mouvement électrique, et l'angle de déviation était déduit approximativement de la courbure des lignes de démarcation. La méthode qui consiste à chercher pour quelle position de l'analyseur ces lignes sont parallèles a été rejetée comme trop longue; mais M. Tribe en a employé une autre, bien plus précise, qui repose sur les effets observés quand les faces de l'analyseur sont horizontales (D, E, F, G, fig. 1). Dans ce cas, les lignes de démarcation peuvent être obliques sur les côtés de la plaque, mais restent toujours perpendiculaires à la direction du mouvement. Si donc un analyseur rectangulaire est placé entre les diaphragmes avec ses faces horizontales et ses côtés parallèles à la perpendiculaire aux deux électrodes, pour un mouvement électrique dirigé parallèlement aux côtés de l'analyseur, les lignes de démarcation doivent être perpendiculaires à cette direction. Cela a lieu plus nettement avec la ligne de démarcation des ions négatifs, et cette ligne a été prise, par suite, pour ligne de zéro. Quand la direction du mouvement change, cette ligne de démarcation se dévie de même, et son angle de déviation est égal à l'angle de déviation totale de la direction du mouvement électrique.

M. Tribe a ainsi déterminé les déviations du mouvement électrique pour des concentrations différentes des milieux électrolytiques ainsi que les angles d'incidence et de réfraction, puis les rapports de leurs

sinus, c'est-à-dire les indices de réfraction électrique. Il formule ainsi les conclusions de ses expériences.

« 1^o Le courant électrique passe sans changement de direction d'un milieu électrolytique à un autre conductibilité différente, quand la direction du mouvement électrique est perpendiculaire à la surface de séparation des deux milieux.

« 2^o Le courant électrique, en passant obliquement d'un milieu dans l'autre, éprouve une réfraction du plan d'incidence; la direction du mouvement électrique se rapproche de la normale à la surface de séparation quand on passe d'un milieu plus conducteur à un milieu moins conducteur, elle s'en écarte dans le cas contraire.

« 3^o La réfraction augmente ou diminue suivant que les conductibilités des milieux s'éloignent ou s'approchent l'une de l'autre.

« 4^o La réfraction augmente à mesure que l'angle d'incidence augmente. » Ainsi, les choses se passent tout à fait comme pour le cas de la lumière, de chaleur et de son; c'est une preuve de plus de la coexistence qui existe entre les forces physiques (A. Guéroul, *Lumière électrique*, tome IV.)

RÉFRACTION DES LIQUIDES (Effets de l'électricité sur la). — Le Dr Kerr a fait des expériences remarquables à ce sujet et a résumé comme suit les résultats qu'il a obtenus : « Quand un liquide isolant est traversé par un effluve électro-statique, il exerce une action purement biréfringente sur la lumière transmise. » Il divise les liquides en deux classes : les *liquides positifs* et les *liquides négatifs*. Les premiers agissent comme un cristal dont la longueur correspondrait aux lignes de transmission électrique, ou comme des plaques de quartz ou de tout autre cristal positif à un axe, ayant leur axe parallèle aux lignes de transmission de l'effluve. (Le sulfure de carbone est le liquide qui donne les meilleurs effets.) Quant aux liquides négatifs, ils agissent comme le verre comprimé parallèlement aux lignes de transmission, ou comme des plaques de spath d'Islande ou de tout autre cristal négatif à un axe, ayant leur axe parallèle aux lignes de transmission. L'huile de colza est la meilleure substance pour ces derniers effets. L'influence de la densité du liquide sur son pouvoir électro-optique est très grande.

RÈGLEMENTS INTERNATIONAUX DE TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE. — Les diverses puissances ont promptement compris que la TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE était une innovation essentiellement internationale et que, dans ce domaine tout pacifique, elles pouvaient et devaient s'entendre pour concourir ensemble au progrès de leurs relations. Une première conférence eut lieu à Paris, en 1865, entre les représentants des États participant à l'Union télégraphique internationale qui fut créée alors. Cette Union a tenu depuis lors cinq grandes assises : à Vienne en 1868, à Rome en 1871, à Saint-Petersbourg en 1875, à Londres en 1879, et à Berlin en 1885. Chacune de ces assemblées a fait aux règles du service international et aux tarifs de notables améliorations. Sur les quarante États ou Offices qui participent à la Convention, trente-six se trouvaient représentés à Berlin; en outre, les délégués de dix-huit compagnies privées ont suivi assiduellement les séances de la conférence et ont pris une part active aux discussions.

Ces conventions ont eu pour avantages d'introduire dans le régime de la télégraphie internationale l'uniformité des règlements, la substitution, dans chaque État, de la taxe unique à une taxe par zones, un abaissement notable des tarifs, l'adoption du franc

comme unité monétaire, l'usage de la dépêche recommandée, de la dépêche à faire suivre, de la dépêche urgente, l'emploi du chiffre comme mode de correspondance. Chaque État réserve à la télégraphie internationale un nombre suffisant de fils spéciaux, qui ne peuvent être déviés de cet emploi qu'en cas de débarrasement des lignes. Le service est, autant que possible, permanent entre les villes importantes. Toute personne a le droit de recourir à la télégraphie internationale sans que les États soient responsables, bien qu'ils assurent, autant qu'ils le peuvent, la bonne transmission des dépêches sous secret. L'expéditeur d'un télégramme privé est tenu d'établir son identité, lorsqu'il y est invité par le bureau d'origine.

La transmission se fait dans l'ordre des catégories suivantes : télégrammes d'État, de service, privés urgents, privés non urgents. Les télégrammes peuvent être rédigés en langage secret. La minute doit être écrite lisiblement au moyen de signaux ayant leurs équivalents dans le tableau réglementaire des signaux télégraphiques et qui soient en usage dans le pays où le télégramme est présenté. L'expéditeur doit donner dans l'adresse toutes les indications nécessaires. Ces indications, à l'exclusion des noms de personnes, doivent être en français ou dans la langue du pays de destination. Moyennant un arrangement entre le destinataire et le bureau télégraphique, l'adresse peut être écrite sous une forme convenue ou abrégée. La signature peut également revêtir la forme abrégée ou être omise.

Les caractères disponibles sont les suivants :

Lettres.

A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z.

Chiffres.

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0.

Signes de ponctuation et autres :

Point (.), virgule (,), point et virgule (;), deux points (:), point d'interrogation (?), point d'exclamation (!), apostrophe ('), trait d'union (-), parenthèses (), guillemet (« »), barre de fraction (/), souligné.

Signes conventionnels :

Télégramme privé urgent D, service taxé ST, réponse payée R P, réponse payée urgente R P D, télégramme collationné T C, accusé de réception C R, télégramme à faire suivre F S, poste payée P P, poste recommandée P R, extras payé X P, estafette payée E P, télégramme remis ouvert R O.

Avec l'appareil Morse seulement :

Les lettres : A, Å ou A', Ñ, Ö, Ü.

Avec l'appareil Hughes seulement :

Les signes : Croix (+), double trait (=).

Toute taxe nouvelle, toute modification d'ensemble ou de détail concernant les tarifs ne sont exécutoires qu'après leur notification par le Bureau international.

La taxe à percevoir pour la correspondance entre deux pays est toujours, et par toutes les voies, la taxe de la voie existante qui, par l'application nor-

male des taxes élémentaires, a donné le chiffre le moins élevé. Toutefois, une taxe spéciale de transit pourra être établie dans chaque cas particulier pour le parcours des canaux sous-marins.

La taxe est établie par mot pur et simple.

Les taxes à percevoir peuvent être arrondies en plus ou en moins, soit après applications des taxes normales par mot, soit en augmentant ou en diminuant ces taxes normales, d'après les conventions monétaires ou autres du pays d'origine.

Dans le calcul de la taxe entre tout ce qui doit être transmis en dehors des mots ajoutés par le service. L'indication de la voie émise par l'expéditeur est transmise comme indication de service et n'est point taxée. Les signes de ponctuation, traits d'union, apostrophes, guillemets, parenthèses, aïnés, ne sont pas comptés. Sur les lignes extra-européennes, la transmission de ces signes n'est pas obligatoire. Le maximum de la longueur d'un mot est fixé à 43 caractères Morse; l'excédent, toujours jusqu'à concurrence de 15 caractères, est compté pour un mot. Pour la correspondance du régime extra-européen, ce maximum est fixé à 40 caractères.

La perception des taxes a lieu au départ, sauf exceptions concernant les télégrammes à faire suivre, les frais d'express et les télégrammes sémaphoriques qui donnent lieu à une perception par le bureau d'arrivée.

L'expéditeur d'un télégramme international a le droit d'en demander reçu avec mention de la taxe perçue.

L'office d'origine a la faculté de percevoir, de ce chef, une rétribution à son profit, dans les limites de 0 fr. 25.

Dans tous les cas où il y a avoir perception à l'arrivée, le télégramme n'est délivré au destinataire que contre paiement de la taxe due.

Les administrations télégraphiques prennent, autant que possible, les mesures nécessaires pour que les taxes à percevoir à l'arrivée et qui n'auraient pas été acquittées par le destinataire, soient recouvrées sur l'expéditeur.

Les taxes perçues en moins par erreur et les taxes et frais non perçus sur le destinataire par suite de refus ou de l'impossibilité de le trouver, doivent être complétées par l'expéditeur.

Un télégramme commandé ne peut être interrompu pour faire place à une communication d'un rang supérieur qu'en cas d'urgence absolue.

Lorsque l'expéditeur n'a prescrit aucune voie à suivre, chacun des offices à partir desquels les voies se divisent, reste juge de la direction à donner au télégramme.

Si, au contraire, l'expéditeur a prescrit la voie à suivre, les offices respectifs sont tenus de se conformer à ses indications, à moins que la voie indiquée ne soit interrompue ou que la transmission par cette voie ne paraisse devoir occasionner un retard notable, auxquels cas il ne peut élever aucune réclamation.

Tout expéditeur peut, en justifiant de sa qualité, arrêter, s'il en est encore temps, la transmission du télégramme qu'il a déposé.

Lorsqu'un expéditeur retire ou arrête son télégramme avant que la transmission en ait été commencée, la taxe lui est remboursée, sous déduction d'un droit fixe de 0 fr. 50. Si le télégramme a été transmis par le bureau d'origine, l'expéditeur ne peut en demander l'annulation que par un télégramme dont il acquitte la taxe.

Les télégrammes peuvent être adressés soit à domicile, soit poste restante, soit télégraphe restant.

L'expéditeur d'un télégramme privé peut obtenir la priorité de transmission en inscrivant le mot *urgent* ou (D) avant l'adresse et en payant le triple de la taxe d'un télégramme ordinaire de même longueur par le même parcours.

Tout expéditeur peut affranchir la réponse qu'il demande à son correspondant; mais cet affranchissement ne peut dépasser la taxe d'un télégramme quelconque de 30 mots par le même parcours.

En écrivant avant l'adresse la mention *collationnement* ou (T C), on peut exiger le collationnement, qui a lieu dans tous les bureaux de passage, avec un supplément de taxe égal au quart de celle d'un télégramme ordinaire de même longueur pour le même parcours.

En ajoutant les indications nécessaires, on peut demander que le bureau d'arrivée fasse suivre un télégramme dans les limites de l'Europe; la taxe complémentaire est perçue sur le destinataire.

Un télégramme multiple peut être adressé soit à plusieurs destinataires dans une même localité, soit à un même destinataire à plusieurs domiciles dans la même localité.

Des télégrammes peuvent être adressés à destination de localités non desservies par le réseau international. Les frais de transport au delà des bureaux télégraphiques, par un moyen plus rapide que la poste, dans les États où un service de cette nature est organisé, sont perçus sur le destinataire.

Les télégrammes de service du réseau international sont transmis en franchise sur tout ce réseau. Les copies des télégrammes sont conservées six mois ou dix-huit mois, suivant qu'il s'agit de l'Europe ou extra-européens.

Chaque État crédite l'État limitrophe du montant des taxes de tous les télégrammes transmis, calculées depuis la frontière des deux États. La taxe qui sert de base à la répartition entre les États, est celle qui résulte de l'application régulière des tarifs. Le règlement réciproque des comptes a lieu à la fin de chaque mois.

Règlements intérieurs de la télégraphie en France. — La plupart des règles de la Convention internationale sont en vigueur depuis longtemps en France, pour le service intérieur des dépêches. Les mots composés usuels ne comptent que pour un mot; les noms de rues, places, boulevards, villes, départements ne comptent que pour un mot; tout caractère isolé ne compte que pour un mot. Les signes de ponctuation ne sont pas comptés. Les nombres en chiffres comptent pour autant de mots qu'il y a de tranches de 5 chiffres plus un mot pour l'excédent. Le souligné compte pour un mot; le trait d'union n'est pas compté.

La taxe télégraphique intérieure est fixée :

1° Pour les correspondances circulant entre les divers bureaux de la France continentale et de la Corse ou entre les bureaux d'Algérie (ou de Tunisie) et par assimilation, pour les correspondances échangées entre les bureaux français et les bureaux de la principauté de Monaco ou entre ces derniers, à 0 fr. 05 par mot, quelle que soit la destination, sans que le prix de la dépêche puisse être moindre que 0 fr. 50;

2° Pour les dépêches télégraphiques privées échangées entre l'Algérie (ou la Tunisie) et la France à 0 fr. 40 par mot, parcours sous-marin compris, sans que le prix de la dépêche puisse être moindre que 1 franc;

3° Pour les dépêches télégraphiques circulant par la voie des tubes pneumatiques, et rédigées sur des formules spéciales affranchies : à 0 fr. 30 pour les

dépêches ouvertes; à 0 fr. 50 pour les dépêches fermées; à 0 fr. 60 pour les dépêches ouvertes avec réponse payée. (V. TÉLÉGRAMME.)

Les dépêches officielles et administratives sont transmises en franchise; mais cela a donné lieu à de nombreux abus, tout télégramme d'un membre quelconque d'une administration d'État pouvant et quelque sorte être présenté comme télégramme de service public. Une décision du ministre de l'Intérieur (décembre 1875), restreint la franchise illimitée au président de la République, au président de Sénat et au président de la Chambre des députés; c'est la franchise *administrative* illimitée aux ministres et aux sous-secrétaires d'État. On évite ainsi que le service télégraphique soit encombré de correspondances particulières envoyées gratuitement par les fonctionnaires. On conserve la copie de chaque télégramme, et elle est insérée aux archives.

On a fait de nombreuses critiques de l'administration télégraphique en France.

« En Amérique, dit M. Etenaud, tout est sacrifié à la vitesse. La dépêche remise est portée à domicile sans être recopiée. Le public peut écrire ses dépêches à l'encre ou au crayon, mais il faut qu'elles soient rédigées en anglais. » — « On ne s'inquiète, dit de son côté M. Villefranche, ni de contenu de la dépêche, ni de l'authenticité de la signature. On lui qu'on dans le système Morse au lieu de laisser les caractères s'imprimer sur la bande de papier; le collationnement n'a lieu que s'il est payé; on supprime le reçu du destinataire; jamais un signe de ponctuation, mais en place abréviations sur abréviations. En un mot eodémis illimitée, mais absence complète de garanties. » On peut s'étonner à bon droit, en effet, d'une part qu'en France on n'ait pas songé à retrancher des règlements administratifs certains articles inutiles et ralentissant la vitesse générale de transmission, d'autre part qu'en Amérique on n'ait pas compris à quels grands inconvénients expose l'absence de toute garantie dans un pays où les affaires de commerce peuvent se traiter par télégrammes.

Regnauld (Henri-Victor), physicien et chimiste français, né à Aix-la-Chapelle le 21 juillet 1810. Admis à l'École polytechnique en 1830, il en sortit dans le service des mines en 1832. A sa sortie de l'École des mines, il fut nommé préparateur-répétiteur du cours de chimie que Gay-Lussac professait alors à l'École polytechnique et succéda, en 1840, à cet illustre maître comme professeur en titre. Il entra, la même année, à l'Académie des Sciences, en remplacement de Robiquet et, l'année suivante, au Collège de France, comme professeur de physique. Il a été nommé ingénieur en chef des mines en 1847, directeur de la manufacture de Sèvres en 1854 et commandeur de la Légion d'honneur en 1863. En 1869, la Société royale de Londres lui a décerné la médaille de Copley. La mort de son fils, le peintre Henri Regnauld, tué à Buzenval en 1870, lui porta un coup dont il ne se releva pas. Il renonça au professorat en 1872 et fut remplacé vers la même époque comme administrateur de la manufacture de Sèvres. En 1875, il reçut de l'université de Leyde le diplôme de docteur en sciences mathématiques. Il est mort à Paris le 19 janvier 1878.

Regnauld avait débuté par un important travail sur les éthers; il s'est depuis adonné presque exclusivement à la physique. Ses premiers travaux sur cette science, qui avaient d'abord paru dans les *Annales de Chimie et de Physique*, ont été réunis depuis dans le volume XXI des *Mémoires de l'Académie des Sciences*, sous le titre : *Relation des*

expériences entreprises par ordre du ministre des Travaux publics et sur la proposition de la Commission centrale des machines à vapeur, etc. Ce sont les plus importants. Ceux qu'il a donnés ensuite ont également été insérés dans les *Annales*.

M. Regnault n'a introduit dans la science aucune grande découverte; mais il a su porter l'art des expériences à un degré de perfection inconnu jusqu'à lui; c'est ce qui a fait sa réputation. Presque tous ses travaux se rapportent à la théorie de la chaleur et ont pour objet principal la détermination soit des coefficients de dilatation, soit des capacités calorifiques. Ses travaux sur les vapeurs et les gaz sont devenus en quelque sorte classiques dans la science.

RÉGULATEUR DE COURANT ÉLECTRIQUE. — Nom par lequel on désigne tout appareil servant à maintenir constante l'intensité d'un courant électrique sur un circuit donné, quelles que soient les variations de la source électrique ou les différentes dérivations pouvant être établies sur cette source.

On conçoit que le rôle des régulateurs de courant, pouvant être comparé au rôle du régulateur de Watt dans les machines à vapeur, est très important dans les applications industrielles de l'électricité.

Classification. — Si on se rappelle que l'intensité I d'un courant est égale au quotient de sa force électromotrice E par la résistance R du circuit ($I = \frac{E}{R}$ formule d'Ohm). Représentant la résistance r intérieure du générateur d'électricité, celle r' du circuit extérieur qui est inutile, enfin celle r'' qui est employée à produire un travail déterminé, on voit que les régulateurs peuvent être divisés en quatre groupes. Ils peuvent, en effet, agir sur la force électromotrice, ou sur l'une des trois sortes de résistances dont l'ensemble constitue la résistance totale R .

Régulateurs de la première catégorie. — Les régulateurs de la 1^{re} catégorie (ceux qui agissent sur E) sont peu nombreux; nous citerons cependant, en ce qui concerne les machines dynamo-électriques, ceux de M. Edison, de M. Brush et de M. Postel-Vinay. Ils peuvent être automatiques ou manœuvrés à la main; leur principe consiste à introduire ou à retirer des résistances dans le circuit excitateur des machines, de manière à faire varier le champ magnétique et par suite la force électromotrice E de celles-ci. (Le régulateur de M. Edison est décrit et représenté au mot INCANDESCENCE.)

Régulateurs de la deuxième catégorie. — Les régulateurs de la 2^e catégorie (ceux qui agissent sur la résistance r') sont peu nombreux, car il est difficile de réagir contre les variations de E et de r . On sait, en effet, que dans les filus une foule de circonstances font varier ces deux facteurs, et que dans les machines (machines magnéto- et dynamo-électriques) toute augmentation ou diminution de vitesse entraîne une variation de E , tout échauffement de bobines augmente la résistance intérieure r .

Nous citerons cependant le régulateur à résistance intérieure variable, imaginé par M. Froment pour régler l'intensité des courants réagissant sur ses moteurs électro-magnétiques; l'appareil se composait d'un régulateur à force centrifuge analogue à celui des machines à vapeur et dont les boules, en se rapprochant ou en s'éloignant, faisaient plonger plus ou moins les charbons de la pile qui fournissait le courant au moteur magnéto-électrique. Mais il n'a été donné aucune suite à cette invention, le travail dépensé pour faire mouvoir les charbons étant trop grand eu égard au résultat obtenu.

Régulateurs de la troisième catégorie. — Les régulateurs de la 3^e catégorie (ceux qui agissent sur la résistance extérieure du circuit r'') sont très nombreux; leur principe consiste à compenser les accroissements d'intensité qui tendent à se produire en augmentant proportionnellement la résistance extérieure, ce qui produit un affaiblissement dans le courant, ou à compenser les diminutions d'intensité en diminuant proportionnellement la résistance extérieure de façon à augmenter le courant. Ces régulateurs ont un défaut: ils introduisent dans le circuit des résistances variables et ils empêchent ainsi de réaliser les conditions d'effort maximum, qui est atteint lorsque la résistance du circuit extérieur ($r' + r''$) est égale à la résistance intérieure r de la source électrique. Le rendement est donc diminué, mais il est constant, ce qui est plus essentiel.

Parmi les régulateurs de ce genre nous signalerons par ordre de date: celui de M. Warimann (1853), composé d'un anastax lié à un mouvement d'horlogerie enclenché par une armature placée devant un électro-aimant intercalé dans le circuit. Cet appareil ne corrigeait que des affaiblissements de courant. En effet, lorsque cet affaiblissement avait atteint une certaine limite, l'armature de l'électro-aimant, n'étant plus attirée, déclenchait le rouage d'horlogerie et le rhéostat s'enroulait jusqu'à ce que, la résistance extérieure ayant assez diminué, l'armature fût de nouveau attirée, ce qui réenclenchait le mouvement d'horlogerie, et ainsi de suite.

On peut aussi utiliser la décomposition rapide de l'eau par le courant pour faire plonger plus ou moins dans le liquide deux électrodes de platine dont la résistance varie avec la grandeur de la surface immergée. Plusieurs régulateurs ont été construits en partant de ce principe; tels sont, par exemple, ceux de M. Regnard, de M. Kohlrausch, de M. M. Lacassagne et Thiers (1854). Ces derniers inventeurs employaient un tube de caoutchouc rempli de mercure, replié sur lui-même à l'intérieur du noyau magnétique d'un électro-aimant. L'armature de ce dernier comprimait plus ou moins le tube de caoutchouc et diminuait ou augmentait ainsi sa section. Ces régulateurs, dont le fonctionnement est basé sur les différents effets que nous venons d'indiquer, sont toujours très compliqués et donnent lieu à des effets d'électrolyse dont résulte une perte d'électricité considérable; aussi a-t-on cherché à n'employer que des résistances inaltérables par le courant.

Dans ce nouvel ordre d'idées on peut citer le régulateur de M. Edison basé sur l'emploi de la poudre de charbon, dont la résistance varie, comme on sait, suivant la plus ou moins grande pression qu'elle supporte. Ce régulateur à compression est employé pour des courants de faible intensité.

M. William Gifford a construit un régulateur du même genre en remplaçant la poudre de charbon par un poil de lapin plombagine.

M. Siemens a combiné un régulateur dont le but est d'introduire successivement un certain nombre de spires de fil de platine dans le circuit lorsque l'intensité du courant tend à augmenter, et il obtient cet effet en utilisant la dilatation d'une lame de platine mince que le courant traverse et échauffe proportionnellement à son intensité.

M. Hospitalier a modifié l'appareil de M. Siemens en remplaçant la lame de platine par un électro-aimant dont la puissance attractive varie avec l'intensité du courant. L'appareil de M. Hospitalier est extrêmement simple et donne en pratique d'excellents résultats. Sa simplicité réside dans la disposition d'un répartiteur. Dans le cas de courants alternatifs ou de

continuité ondulatoire (cas des courants fournis par les machines dynamo-électriques), M. Hospitalier remplace le répartiteur par le fil à dilatation variable proposé par M. Siemens. Pour les moteurs électriques, un simple régulateur à force centrifuge agit sur le répartiteur et déplace le point d'appui en fonction des variations de vitesse. Nous nous contentons de signaler le principe de l'appareil, renvoyant le lecteur pour sa description détaillée à un article de M. Hospitalier publié dans la *Lumière électrique*, t. I, n° 2, article auquel nous avons emprunté les renseignements qui précèdent.

Régulateurs de la quatrième catégorie. — Les régulateurs de la 4^e catégorie (ceux qui agissent sur la résistance r employée à produire un travail déterminé) sont fort employés dans les applications spéciales de l'électricité à la lumière. (V. RÉGULATEUR DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.)

Régulateurs à maximum. — Certains régulateurs ne rentrent dans aucune des catégories qui précèdent, et que M. Hospitalier propose d'appeler *régulateurs à maximum*, ont pour but de supprimer le courant lorsque l'effet qu'il doit produire a atteint une certaine limite. On peut citer comme exemples :

1^o Le régulateur de M. Edison, appliqué aux lampes électriques : une spirale de platine placée dans la lampe et chauffée par le passage du courant met en danger en court-circuit dès que la température a atteint une certaine limite ; le courant est ainsi affaibli et supprimé dans certains cas.

2^o Le régulateur de M. Marcel Deprez, applicable aux moteurs électriques. Quand le moteur a atteint une certaine vitesse la force centrifuge agit sur un ressort qui ouvre le circuit de la bobine du moteur ; le circuit ne se reforme que lorsque la vitesse est revenue à sa valeur normale, solution fort simple et très pratique dans le cas d'un seul appareil branché sur la source électrique. (V. RÉGULATEUR DE VITESSE.)

D'autres régulateurs, enfin, sont ceux destinés à faire varier l'intensité du courant sans faire varier sa force électromotrice ; ils ne sont applicables qu'aux machines dynamos. Citons comme exemples : le régulateur de la machine Thomson-Houston (v. MACHINE), dans laquelle on fait varier le débit en agissant automatiquement sur la position des balais-collecteurs. Ces régulateurs ont cependant une certaine analogie avec celui de Froment, cité plus haut, au point de vue des résultats.

RÉGULATEUR de la lumière électrique, ou LAMPE A ARC. — Appareil qui maintient à une distance constante les charbons entre lesquels jaillit l'ARC voltaïque. — Ce qui s'est opposé pendant longtemps à l'emploi de la lumière électrique, c'était la difficulté de maintenir le foyer lumineux dans un même point fixe et d'empêcher ces alternatives d'accroissement d'éclat et de défaillance qui se succèdent dans la production de la lumière. On sait que le foyer éclairant, dans la lampe photo-électrique, se forme entre deux pointes de charbon qui terminent les pôles conducteurs d'une puissante pile voltaïque ou d'une machine dynamo-électrique. Ces pointes de charbon ne doivent pas être mises en contact, mais maintenues à une certaine distance, qui doit toujours rester la même. Or, comme les charbons, brûlant au contact de l'air par suite de la température excessive de l'arc électrique, s'usent continuellement, on doit faire usage d'un mécanisme pour les rapprocher l'un de l'autre, dans la proportion exacte de cette usure.

MM. Slatte et Petri, en Angleterre, L. Foucault,

en France, ont les premiers résolu le problème, et eut de son côté, en 1848. On trouvera la description des appareils de ces physiciens dans l'*Exposé et applications de l'électricité* de Du Moncel. M. S. Rin, constructeur parisien, présente, au mois de novembre 1860, à l'Académie des Sciences, un appareil qui vint à son inventeur, de la part de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, une médaille de platine en 1863 et une médaille d'or en 1866.

Depuis que les applications de la lumière électrique se sont développées, on a imaginé des régulateurs ; types très divers ; aussi eussent-ils beaucoup trop long de les décrire tous. Nous nous contenterons de passer en revue ceux qui sont les plus employés et qui présentent quelque particularité intéressante.

On peut avant tout se proposer d'établir une classification afin de faciliter l'étude de ces divers appareils.

Classification. — Les régulateurs peuvent être divisés en deux classes :

Les régulateurs monophotes, exigeant pour chaque appareil un circuit spécial, l'application de ces régulateurs à un éclairage comportant plusieurs brûleurs nécessite l'emploi de conducteurs nombreux et d'une grande section pour peu qu'ils soient éloignés des machines génératrices. Ils donnent généralement une lumière plus fixe que les régulateurs à division ; mais cette fixité est due moins aux qualités propres aux régulateurs monophotes qu'aux conditions favorables dans lesquelles ils sont toujours employés.

Les régulateurs à division ou polyphotes, c'est-à-dire pouvant être intercalés en plus ou moins grand nombre sur un même circuit. Ces régulateurs se subdivisent généralement en deux catégories, savoir :

Les régulateurs à dérivation ;

Les régulateurs différentiels.

Dans les premiers, le mouvement de rapprochement des charbons est commandé par un électro-aimant ou un solénoïde à fil fin, monté en dérivation sur le circuit principal. Quand l'écart des charbons devient trop considérable, l'intensité du courant dérivé augmente, l'armature de l'électro-aimant ou le noyau du solénoïde est attiré et déclenche les organes qui réalisent le rapprochement des charbons. L'onde-choc se reproduit dès que l'écart normal est obtenu.

Dans les régulateurs différentiels, le mouvement de l'armature est obtenu par l'action différentielle de deux électros, l'un à fil gros placé dans le circuit, l'autre à fil fin placé en dérivation.

Dans les régulateurs à dérivation, le réglage de l'appareil à une longueur d'arc déterminée est obtenu en agissant sur un ressort antagoniste de l'électro-aimant. Ce ressort est remplacé par l'électro à gros fil dans les régulateurs différentiels. Tandis que l'action du ressort antagoniste sur l'armature est à peu près constante, celle de l'électro à gros fil est variable et diminue quand l'écart des charbons augmente ; elle vient faciliter le mouvement de l'armature sous l'action de l'électro à fil fin et accroître ainsi la sensibilité de l'appareil. En principe, les régulateurs différentiels sont donc préférables aux régulateurs à dérivation. Dans l'application cet avantage est moins marqué, et cela pour la raison suivante : c'est qu'il est indispensable d'avoir un moyen facile de modifier le réglage d'un régulateur ; or, il n'est pas pratique de modifier l'enroulement des fils des électros ; on est donc obligé de disposer des ressorts ou des contre-poids sur lesquels on agit pour faire varier à volonté l'action des électros sur leur armature.

Ces organes accessoires compliquent les appareils

et diminuent leur sensibilité. Ils rendent, au point de vue des résultats obtenus, les régulateurs à dérivation comparables aux régulateurs différentiels.

En dehors de cette classification générale des régulateurs en monophotes et polyphotes, on peut en donner une autre basée sur les conditions du fonctionnement même du régulateur au point de vue méca-

nique. C'est cette classification que nous avons établie dans le tableau suivant. En regard de chaque catégorie d'appareils nous avons indiqué le nom du régulateur que nous avons choisi comme type et dont nous expliquerons le mode de fonctionnement en nous aidant de croquis simplement destinés à en faire comprendre le principe.

Classification des divers systèmes de Régulateurs imaginés jusqu'à ce jour.

		Types.		
1 ^{re} catégorie. Les armatures ou les noyaux des organes électriques ont un mouvement d'oscillation produisant un déclenchement des organes métalliques.	(a) Régulateurs à mouvement d'horlogerie.	à dérivation.	Monophotes. { Serrin. Siemens.	
			différentiels.	{ Gramme. Bréguet. Ganz. Siemens. Schwerd.
	(b) Régulateurs à frein.	monophotes.		{ Cancé. Gülcher. Pieper. Gérard. Burgin.
		à dérivation.	différentiels.	{ Gérard. Brush. Weston.
	2 ^{de} catégorie. Les noyaux des organes électriques ont un mouvement de translation qu'ils transmettent aux charbons.	(c) Régulateurs à mouvement d'horlogerie et à frein.	différentiels.	{ Chertemps. Crompton et Crabb.
			Régulateurs à solénoïdes.	monophotes. { Jaspard. différentiels. { Jurgensen. Piette et Krizik.
3 ^e catégorie.	Les charbons sont mis par un moteur électrique actionné par le courant ou une dérivation de ce courant.			
4 ^e catégorie.	Les charbons sont mis en mouvement par des pistons qui se déplacent dans des cylindres de sections convenables et pleins de glycérol ou de mercure.			
5 ^e catégorie.	Dans cette catégorie nous comprendrons un certain nombre de régulateurs qui ne peuvent se rattacher à aucun des systèmes précédents.			

PREMIÈRE CATÉGORIE.

(a) RÉGULATEURS A MOUVEMENT D'HORLOGERIE.

Dans tous ces régulateurs la roue à rochet ou à palette sur laquelle agit l'armature de l'électro-aimant a une vitesse très considérable par rapport à la vitesse de rapprochement des crayons; si donc l'enclenchement de la roue n'a pas lieu au moment précis où il doit se produire, s'il y a retard à l'enclenchement, par exemple, il n'en résulte pour les charbons qu'une très faible diminution de l'écart normal, diminution qui influe peu sur l'éclat de la lumière et qui est rapidement corrigée par la combustion des crayons. Si au contraire l'enclenchement se produit trop tôt, l'écart des charbons, restant trop grand, provoque plus vite un nouveau déclenchement du rouage.

Pour qu'un régulateur à mouvement d'horlogerie soit très sensible, il faut que l'armature de l'électro-aimant soit attirée ou abandonnée par une très faible variation dans l'intensité du courant, et que la vitesse de la roue à rochet soit très grande par rapport à celle des charbons. Lorsque ces conditions sont remplies, ou à un régulateur dans lequel le mouvement de rapprochement des charbons se produit d'une manière continue et insensible et dans lequel l'écart des charbons reste normal. Le principal inconvénient de ces régulateurs, c'est de comporter un grand nombre de

pièces délicates, et par suite d'exiger un entretien minutieux et de fréquentes réparations.

Régulateurs monophotes Serrin et Siemens. — Ces régulateurs sont anciens et ne conviennent pas à des installations d'éclairage de quelque importance. Comme le régulateur Serrin est le premier qui ait fonctionné avec une parfaite régularité, nous en donnons ci-dessous la description.

La fig. 1 donne le croquis du régulateur Serrin (modèle primitif). Le charbon positif est porté par une tige B qui se termine inférieurement par une crémaillère C. Cette tige glisse à frottement doux dans une douille H; lorsqu'elle s'abaisse, et avec elle le charbon positif, la crémaillère transmet le mouvement à une roue G, sur l'axe de laquelle est fixée une poulie D. Cette poulie, tournant de droite à gauche, fait enrouler une chaîne z, qui passe sur une seconde poulie y et va s'attacher, en t, à la partie inférieure d'une tige rectangulaire. Celle-ci, en s'élevant, fait monter la pièce K qui porte le charbon négatif c', en sorte que celui-ci monte à mesure que le charbon positif descend.

Supposons les deux charbons en contact: le courant entre par le fil P, monte suivant HB et arrive au charbon positif; il passe au charbon négatif, va à la pièce K, se rend dans le sens des flèches à la borne d, qui le cède à l'électro-aimant E, d'où il

sort pour aller à la borne π , et retourner à la pile par le fil N.

Aussi souvent que, dans ce trajet, le courant passe dans l'électro-aimant, aussi souvent l'armature en fer doux A est soulevée; ce mouvement produit l'écart des charbons de la manière suivante :

A l'armature A est fixé un cadre oscillant autour d'un axe horizontal V et lié à une tige g , articulée, en π , à un second cadre mnp , mobile lui-même autour d'un axe qui passe par le point m sous le pied de la douille H. L'armature A, soulevée, fait basculer le levier VS; la tige g s'abaisse et détermine l'écart des deux charbons.

Il faut que ces deux charbons restent écartés. Pour cela, en descendant, la tige g a abaissé une pièce g ,

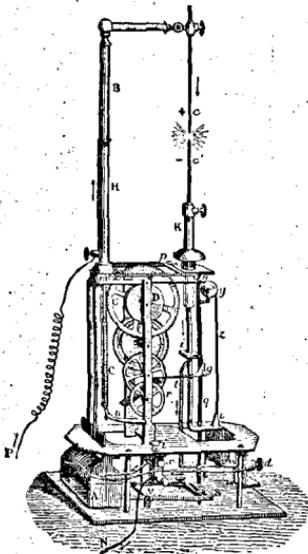


Fig. 1. — Régulateur Serrin.

qui se termine par une lame horizontale f . Celle-ci, embrayant alors dans les dents d'une roue r , l'arrête et avec elle toutes les roues dentées et la crémaillère C. Les charbons sont alors fixés et restent tels tant que le courant a assez d'intensité pour tenir l'armature A soulevée.

Les charbons s'usant, leur distance augmente, le courant faiblit, l'armature descend, la roue r se désembraye, les charbons marchent l'un vers l'autre, mais sans arriver au contact, parce que le courant, redevenu plus intense, soulève de nouveau l'armature et arrête les charbons.

Cet appareil, comme on voit, est rigoureusement automatique; on peut l'abandonner entièrement à lui-même.

Le régulateur Serrin a été perfectionné au point de vue purement mécanique, mais le principe est toujours le même. Cet appareil est employé à peu

près exclusivement pour l'éclairage des phares France.

Régulateur à dérivation Gramme. — La fig. 2. représente les organes essentiels. Le charbon supérieur est porté par une tige à crémaillère A et tend à descendre par son propre poids. Cette crémaillère engrene avec la première roue dentée d'un mouvement d'horlogerie dont le dernier mobile est une roue à palette. Cette roue est enclenchée par le quel t que porte l'extrémité de l'armature B d'électro-aimant à fil fin M monté en dérivation sur circuit principal. Le charbon inférieur est fixé à un cadre métallique suspendu par deux ressorts

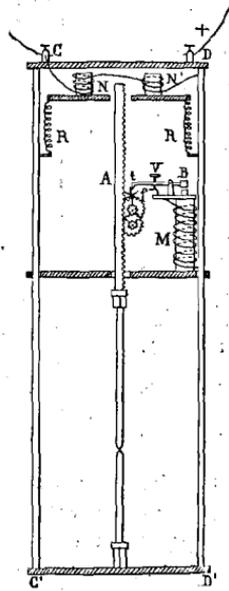


Fig. 2. — Régulateur Gramme.

housin R, R aux pièces fixes de l'appareil. La traverse supérieure de ce cadre constitue l'armature d'un électro à gros fil NN' placé dans le circuit.

Au moment de l'allumage, si les charbons ne sont pas en contact, tout le courant passe dans l'électro en dérivation M; l'armature B de cet électro est alors attirée, le dernier mobile du mouvement d'horlogerie est dégagé et le charbon supérieur descend jusqu'à ce qu'il vienne au contact du charbon inférieur. A ce moment le courant abondamment la dérivation, l'armature B de l'électro M se relève et enclenche le mouvement d'horlogerie, le courant traverse le charbon et par suite l'électro à gros fil placé sous la traverse supérieure du cadre et l'arc jaillit. Quand l'écart entre les charbons devient trop grand l'intensité du courant dérivé augmente, l'armature B est de nouveau attirée et il se produit un nouveau déclenchement qui ne cesse que lorsque l'écart normal est obtenu.

En un mot dans ce système, l'armature B joue le rôle d'un trembleur produisant une série d'enclenchements et de déenclenchements successifs.

Ce résultat est obtenu de la façon suivante : Pour que le circuit dérivé soit fermé, il faut que la vis V fixée à l'armature B soit en contact avec le ressort f; or, ce contact ne se produit que lorsque l'armature est relevée. Si la dérivation augmente dans l'électro M, l'armature sera attirée, la roue à palette du rouage dégage; mais la vis V quittera le ressort f, et le courant cessera de passer dans l'électro. A ce moment l'armature se relèvera, le taquet t enclenchera le rouage et la vis V fermera de nouveau le circuit dérivé, ce qui permettra un nouveau déenclenchement; ces déenclenchements se reproduiront successivement jusqu'à ce que, l'écart des charbons étant redevenu normal, l'intensité du courant dérivé ne soit plus suffisante pour permettre à l'électro d'attirer l'armature B.

Régulateur à dérivation Bréguet. — Il présente une grande analogie avec le précédent (fig. 3). L'é-

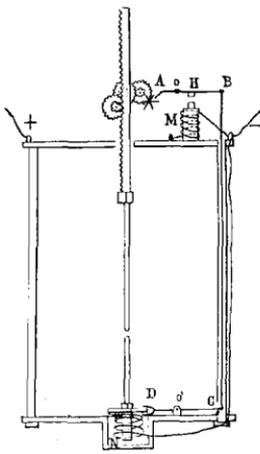


Fig. 2. — Régulateur Bréguet.

cart des charbons est obtenu au moyen de deux électro. L'un N à gros fil, l'autre M à fil fin. Le porte-charbon inférieur est relié par un système de leviers AB, BC et CD à l'armature de l'électro-aimant à fil fin. Quand la distance des charbons augmente outre mesure, l'armature N de l'électro M est attirée, elle déclenche le mouvement d'horlogerie et permet au charbon supérieur de descendre; mais en même temps elle fait osciller le levier CD par l'intermédiaire de la tige BC; le charbon inférieur est ainsi relevé d'une certaine quantité, ce qui diminue le temps nécessaire pour ramener les charbons à leur distance normale. Pendant le rapprochement des charbons, l'intensité du courant diminue graduellement dans la dérivation, l'armature N se relève peu à peu, le charbon inférieur redescend en même temps que le char-

bon supérieur jusqu'à ce que l'enclenchement du mouvement soit obtenu.

Régulateur à dérivation Ganz. — Le porte-charbon supérieur est seul mobile (fig. 4); sa tige AA' est à crémaillère, elle engrène avec un mouvement d'horlogerie dont le dernier mobile est enclenché par un cliquet e à plusieurs dents. Ce cliquet et tous les rouages du mouvement d'horlogerie sont fixés sur l'un des côtés BB' d'un parallélogramme articulé BOO'B'. Le côté OO' de ce parallélogramme est fixe; le côté prolongé BO porte à son extrémité C le noyau CD d'un solénoïde à fil fin M monté en dérivation sur le circuit principal. L'emploi du parallé-

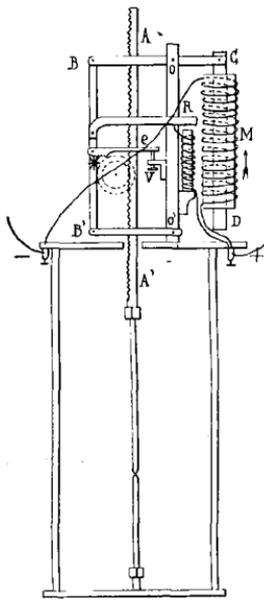


Fig. 4. — Régulateur Ganz.

gramme articulé permet d'obtenir la formation de l'arc, puis le rapprochement des charbons avec le seul solénoïde à dérivation M. En effet, au moment de l'allumage, si les charbons ne sont pas au contact, tout le courant traverse la dérivation, le solénoïde attire son noyau CD, celui-ci en se relevant abaisse le parallélogramme BOO'B' qui entraîne le porte-charbon AA' auquel il est relié par l'intermédiaire de rouages; mais pendant ce mouvement le cliquet e vient buter contre la vis V, se relève, dégage le premier taction du poids du porte-charbon AA'. Quand les deux charbons sont au contact, le courant cesse de passer par la dérivation, le noyau CD redescend, relève le parallélogramme, le cliquet e s'abaisse, enclenche le mouvement d'horlogerie, et le charbon

supérieur, suivant le mouvement de bas en haut du parallélogramme, détermine l'écart nécessaire à la formation de l'arc. Lorsque cet écart augmente, le noyau CD est de nouveau attiré, le parallélogramme s'abaisse jusqu'à ce que le cliquet *e* produise un nouveau déclenchement, qui cessera dès que l'écart normal sera reproduit, et ainsi de suite.

Le réglage de l'appareil, pour assurer son bon fonctionnement avec un courant d'intensité déterminée, se fait d'une part en relevant plus ou moins la vis *V*, ce qui avance ou retarde le déclenchement du mouvement d'horlogerie, d'autre part en modifiant l'action du solénoïde *M* sur son noyau à l'aide d'un ressort antagoniste.

Les régulateurs Ganz se montent en tension. Afin d'éviter que l'arrêt d'une lampe ne produise l'extinction de toutes les autres, on se sert d'un électro-aimant à gros fil dont l'armature *R* est fixée au côté *BB'* du parallélogramme articulé. Cet électro est relié d'une part à l'une des bornes du régulateur et de l'autre à un contact métallique sur lequel peut s'appuyer l'armature *R*, qui est elle-même en communication avec l'autre borne du régulateur. Si le charbon supérieur ne peut arriver au contact du charbon inférieur, tout le courant passant dans le solénoïde *M*, le noyau *CD* se relèvera de plus en plus; l'armature *R* viendra toucher le contact métallique dont il a été parlé plus haut, le courant traversera alors l'électro à gros fil, l'armature *R* attirée par cet électro restera abaissée et le passage du courant sera ainsi assuré.

Pour obtenir une lampe à deux paires de charbons, on fait agir le noyau *CD* du solénoïde sur deux parallélogrammes; chacun d'eux porte un mouvement d'horlogerie indépendant et commande la chute d'un des porte-charbons supérieurs. Mais la vis *V* correspondant à l'un des mouvements est placée un peu plus haut que celle qui correspond au mouvement de la deuxième paire de charbons. Le premier mouvement sera le premier déclenché et c'est entre les charbons correspondants que l'arc jaillira.

La lampe Ganz est employée en Allemagne; elle fonctionne bien.

Régulateur différentiel Siemens. — Comme dans le système précédent, c'est par l'intermédiaire d'un parallélogramme articulé que le noyau d'un électro-aimant provoque le déclenchement du mouvement d'horlogerie (fig. 5). Ce noyau *HH'* est commun aux deux solénoïdes *M* à fil fin et *N* à gros fil. Il est relié au parallélogramme *CDEF* par une biellette *BCD* constituée par le côté *CD* prolongé. Sur le côté vertical *DE* est fixé un doigt à entaille *e*. Dans cette entaille pénètre l'extrémité d'un pendule à ancre *p* qui commande le mouvement d'horlogerie engrenant avec la tige à crémaillère du porte-charbon supérieur. Au moment de l'allumage, lorsque les charbons ne sont pas au contact, le courant passe tout entier dans le solénoïde à fil fin *M*, le noyau *HH'* est alors relevé; le côté *DE* du parallélogramme s'abaisse et entraîne le porte-charbon dans son mouvement jusqu'à ce qu'un taquet fixe *f*, venant toucher le doigt *e*, relève ce dernier et dégage le pendule *p*. Le déclenchement étant obtenu, le porte-charbon descend seul jusqu'au contact avec le charbon inférieur. A ce moment le courant abandonne le solénoïde *M* pour passer dans le solénoïde *N*, le parallélogramme se relève, le doigt *e* encroûte le pendule *p*, et le porte-charbon *AA'*, devenu ainsi solidaire du parallélogramme, se relève avec lui jusqu'à ce que, l'écart normal étant obtenu, le noyau *HH'* ait pris une position d'équilibre entre les deux solénoïdes. Si les charbons ne pouvaient

arriver au contact, le parallélogramme, continuant s'abaisser, toucherait le contact *K* et fermerait le court circuit de manière à assurer le fonctionnement des autres lampes.

L'échappement à ancre a pour but de diminuer la vitesse de défilement des rouages et par suite la chute du charbon supérieur. Cette chute est encore modi-

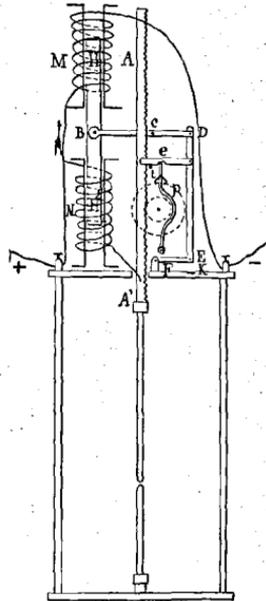


Fig. 5. — Régulateur différentiel Siemens.

rée par une petite pompe à air dont le piston est solidaire des mouvements du parallélogramme.

Régulateur différentiel Schward. — Ce régulateur présente beaucoup d'analogie avec le précédent. Il y a deux solénoïdes *M* et *N* dont le noyau commun *HH'* agit sur un parallélogramme *CDEF* (fig. 6). Au côté *DE* de ce parallélogramme est fixée l'extrémité d'un levier à cliquet *ef*. Ce levier commande le mouvement d'horlogerie qui engrène avec le porte-charbon *AA'* en embrayant ou dégageant la tige *p* du plateau-balancier à ancre *P*. Le porte-charbon inférieur est fixé au côté *EF* du parallélogramme.

Au moment de l'allumage, le solénoïde *M* attire le noyau *HH'*, celui-ci relève le parallélogramme et le porte-charbon inférieur, le levier *ef* bascule et son côté *e* en s'abaissant dégage le mouvement d'horlogerie. Le charbon supérieur descend et arrive au contact du charbon inférieur. Le courant quitte alors le solénoïde à fil fin *M* pour passer dans le solénoïde à gros fil *N*, le noyau, en descendant, abaisse le parallélogramme, encroûte le cliquet *p*, arrête le

porte-charbon supérieur, puis éloigne le crayon inférieur jusqu'à ce que l'écart normal soit obtenu.

Parmi les régulateurs à mouvement d'horlogerie, nous citerons :

1° Les régulateurs monophotes de MM. Carré, Hiram Maxim, Th. Wright, Le Moll, Harrison, Reynier.

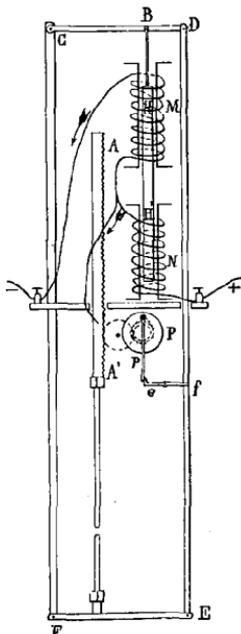


Fig. 6. — Régulateur Schverd.

2° Les régulateurs à dérivation de MM. Suisse (Lontin), Million, J. Mathieson, Mather, Fein.

3° Les régulateurs différentiels de MM. Foucault et Duboisq, de Mersanne, Girouard, Gravier, Berjot, Solignac, H. Fontaine, B. Egger.

(b) RÉGULATEURS A FREIN.

Les régulateurs à frein sont moins compliqués que les régulateurs à mouvement d'horlogerie. Le principe de tous ces appareils consiste à appliquer un frein à la tige du porte-charbon supérieur et à faire dépendre l'action de ce frein de l'intensité du courant traversant un solénoïde ou un électroaimant monté en dérivation sur le circuit principal de la lampe.

Régulateur monophote Cance. — Cette lampe a pour organe essentiel une vis verticale pouvant tourner sur son axe sans déplacement dans le sens

de celui-ci (fig. 7, 8 et 9). Le rapprochement des charbons est obtenu par la descente du cadre qui supporte le charbon supérieur. Ce cadre est fixé sur un écrou de même pas que la vis et tend à descendre par son propre poids en faisant tourner cette vis dans un certain sens; il en résulte que si on empêche la vis de tourner l'écrou reste fixe et les

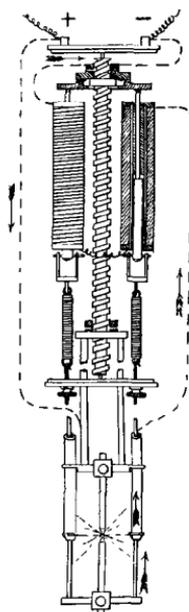


Fig. 7. — Lampe Cance pour montage en dérivation.

charbons sont immobiles, mais si l'on supprime la résistance qui arrête le mouvement de rotation, la vis tourne et l'écrou descend d'une quantité proportionnelle à l'angle de rotation. Si l'on fait agir une force antagoniste pour empêcher la rotation, il y aura un nouvel arrêt, et ainsi de suite.

Les solénoïdes de réglage sont dans le circuit et commandent un frein ainsi construit : à la partie supérieure de la vis se trouve un écrou de même pas qu'elle et reposant sur une bague qui fait corps avec la vis; un peu au-dessous et à très petite distance est placé un plateau annulaire dont l'ouverture est plus large que la bague, mais d'un diamètre inférieur à celui du pourtour de l'écrou. Aux extrémités d'un même diamètre de ce plateau viennent buter les deux noyaux des solénoïdes; ces noyaux sont munis à leur partie inférieure de ressorts à boudin qu'on peut tendre ou détendre à volonté au moyen de vis de réglage et qui tirent les noyaux de haut en bas.

Ceci posé, il est facile de comprendre le fonctionne-

ment de l'appareil : au moment de l'allumage, les deux charbons se touchent, l'écran repose sur la bague qui fait corps avec la vis, et les noyaux des solénoïdes, attirés vers le bas par les ressorts à boudin, ne touchent pas le plateau annulaire placé en dessous de l'écran en question.

Si l'on envoie le courant dans la lampe, la résistance de l'arc est nulle, puisque les charbons se touchent, l'intensité du courant est donc à son maxi-

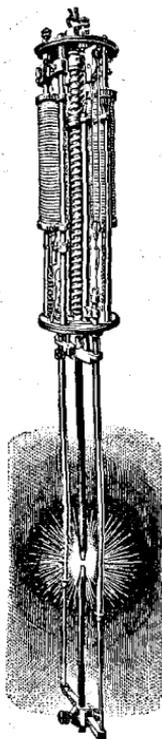


Fig. 2. — Vue perspective du mécanisme d'une Lampe Cane.

mum, les solénoïdes aspirent les noyaux et les extrémités supérieures de ces derniers viennent soulever le plateau annulaire ainsi que l'écran. Cet écran en s'élevant fait tourner la vis en sens contraire de son mouvement normal et provoque ainsi l'ascension de l'écran du porte-charbon supérieur, les deux charbons s'éloignent donc et l'arc voltaïque est formé. Au bout d'un certain temps de marche, les charbons s'usent, la longueur de l'arc et par suite sa résistance augmentent, l'intensité du courant diminue; il s'ensuit que la force attractive des solénoïdes placés dans le circuit diminue. Cette diminution de puissance attractive n'a aucun effet jusqu'au moment où le courant

a atteint une intensité telle que le poids des noyaux et la traction des ressorts à boudin soient exactement équilibrés par la force d'attraction des bobines. A partir de ce moment, la plus faible diminution d'intensité du courant aura pour conséquence la descente des noyaux et par suite du plateau annulaire; la vis, libérée, tournera d'une certaine quantité; l'écran du porte-charbon descendra. Les charbons se rapprochant, le courant augmente d'intensité et

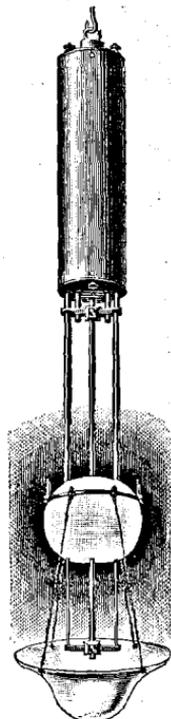


Fig. 3. — Vue perspective d'une Lampe Cane, munie de son enveloppe et d'un globe.

force attractive des solénoïdes devient alors suffisante pour relever les noyaux et le plateau annulaire, de manière à arrêter de nouveau le mouvement de rotation de la vis et par suite la descente du charbon. La régularité et la douceur de ce réglage sont dues à l'emploi de la vis comme organe de commande, combiné à celui du frein à écran et à plateau; on obtient ainsi le même résultat que si on faisait usage d'une roue à dents infiniment petites.

Comme un mouvement de rotation assez grand relativement au temps que le frein met à fonctionner ne correspond qu'à un faible déplacement vertical, le réglage de la lampe est d'une grande sûreté.

Régulateur polyphote Cance. — En apportant quelques modifications à l'appareil précédent, M. Cance a transformé son régulateur monophote en un régulateur *polyphote*, c'est-à-dire susceptible d'être monté en tension aussi bien qu'en dérivation.

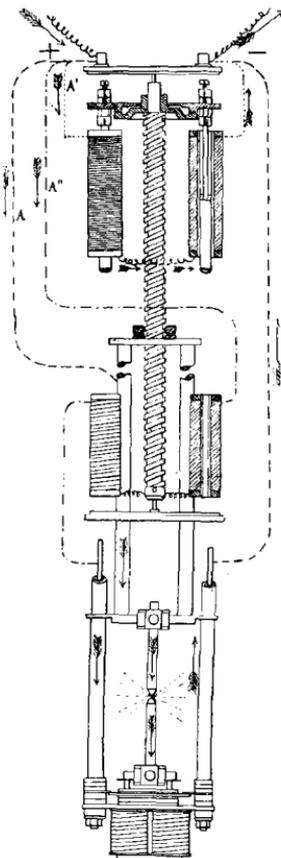


Fig. 10 — Lampe Cance pour montage en tension.

A. Circuit principal. A'. Circuit du dérivateur
A''. Circuit dérive automatique.

L'allumage se fait à l'aide d'un électro-aimant à gros fil placé à la partie inférieure de la lampe et intercalé dans le circuit (fig. 10). Au moment où le courant vient à passer, cet électro attire brusquement son armature sur laquelle est fixé le porte-charbon infé-

rieur et produit ainsi l'écart nécessaire à la formation de l'arc. Les solénoïdes de réglage sont en dérivation et entourés de fil fin dans lequel ne circule par conséquent qu'une faible fraction du courant principal; les noyaux de ces solénoïdes sont suspendus à un plateau annulaire placé au-dessus d'un autre plateau calé sur le vis et empêchant par friction la rotation de celle-ci.

Lorsque, par suite de l'usure des charbons, l'arc augmente, sa résistance augmente et une fraction plus notable du courant passe dans les solénoïdes; les noyaux sont alors aspirés et soulèvent le plateau annulaire supérieur; le plateau calé sur le vis peut tourner avec elle et laisser descendre l'écrin du porte-charbon supérieur. L'arc, ayant ainsi diminué de longueur, présente moins de résistance, la dérivation dans les solénoïdes diminue et les noyaux qui arrêtent la descente du charbon supérieur peuvent retomber.

On voit que dans ce type de régulateur le mode de réglage est inverse de celui du premier type. Il y a de plus un organe (*le dérivateur*) qui était inutile dans les lampes monophotes, mais qui est indispensable dans les lampes polyphotes montées en tension, pour empêcher que l'extinction de l'une de ces lampes ne provoque celle des autres.

Le dérivateur se compose de deux bobines en fil de maillechort, dont la résistance est à peu près égale à la résistance apparente de la lampe lorsqu'elle fonctionne (c'est-à-dire à $R = \frac{E}{I}$ formule d'Ohm). Ainsi

que le montre le dessin, ces deux bobines sont reliées d'une part à l'une des bornes de la lampe et d'autre part à une pièce de cuivre isolée placée à la partie inférieure de l'appareil; une deuxième pièce de cuivre placée en regard de la première est en relation avec la seconde borne de la lampe. Lorsque le courant cesse de passer par les charbons, par suite d'une rupture de ces derniers ou pour toute autre cause, l'électro-aimant qui provoque l'allumage, n'étant plus actionné, n'attire plus le porte-charbon; ce porte-charbon, obéissant alors à l'action d'un ressort, remonte et soulève une traverse en cuivre qui fait corps avec lui; cette traverse vient buter contre les deux pièces de cuivre dont il a été question plus haut et ferme le circuit sur les bobines en maillechort; le fonctionnement des autres lampes est ainsi assuré.

Régulateur Gülcher. — Il se compose essentiellement d'un électro-aimant B à branches inégales dont

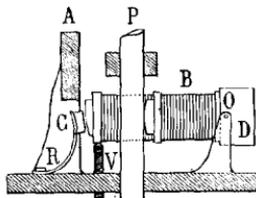


Fig. 11. — Régulateur Gülcher.

le fil est traversé par le courant total qui produit l'arc (fig. 11). Cet électro oscille en O, et son poids est équilibré partiellement par la culasse en fer D. Le porte-charbon positif P est en fer et sert d'armature à la branche la plus courte de l'électro B;

une pièce fixe A, également en fer, est placée en regard et au-dessus de la grande branche de l'électro; une petite armature supplémentaire C, fixée à l'extrémité d'un ressort R, a pour fonction de modérer la rapidité des oscillations de l'électro-aimant lorsqu'il est attiré par la pièce A. Au repos, la grande branche repose sur le vis V, et les deux charbons se touchent; aussitôt que le courant passe, l'électro B oscille sous l'influence de l'armature A; la tige P adhère à la petite branche de l'électro et se trouve soulevée, ce qui produit l'arc; l'intensité du courant diminuant par suite de l'usure des charbons, l'électro retombe bientôt sur le vis de butée V, et la tige P descend aussitôt que la force attractive devient insuffisante pour contrebalancer son poids; la résistance de l'arc diminue, la tige est de nouveau arrêtée, et ainsi de suite.

Un système de poulies et de cordelles convenablement disposé fait monter le charbon négatif pendant que le charbon positif descend, de manière à maintenir à la même hauteur le foyer lumineux. Ce genre de régulateur est très usité en Allemagne; on lui reproche quelques variations, dues principalement à ce qu'il n'a pas d'amortisseur.

Régulateur à dérivation Pieper. —

Cette lampe, représentée fig. 12, se compose essentiellement d'un levier-armature L portant à son extrémité deux lames l_1 et l_2 , terminées par des sabots qui épousent la forme cylindrique du porte-charbon supérieur. Quand l'arc voltaïque dépasse une certaine longueur, l'électro-aimant E, placé en dérivation sur le circuit principal, attire l'armature L et rompt le circuit dérivé à cause de l'éloignement du ressort r de la vis de réglage v. Par suite de la fermeture du circuit et du rappel opéré par le ressort B, le levier-armature L se détache, le contact est rétabli entre v et r et une nouvelle attraction se produit.

Le mouvement est le même que dans une sonnerie trembleuse. A cause de la vibration du levier L, le porte-charbon supérieur descend jusqu'à ce que l'écartement entre les deux charbons soit revenu ce qu'il doit être, c'est-à-dire de 0^m,603 environ.

L'allumage se fait très simplement: à l'état de repos le porte-charbon inférieur est soulevé par un ressort à boudin qui l'écarte d'un électro-aimant F d'une distance égale à l'écartement normal des charbons. Quand on lance le courant dans la lampe, si les charbons sont à l'écart, l'électro de dérivation agit sur son armature et les sabots font descendre le porte-charbon supérieur jusqu'à ce que le contact des deux charbons soit obtenu. A ce moment le courant passe par les charbons et l'électro inférieur à gros fil F. Le porte-charbon inférieur est rappelé et l'arc jaillit.

Quand le charbon supérieur est complètement usé,

son porte-charbon établit un contact qui met hors circuit tout le mécanisme de la lampe.

A l'Exposition universelle d'Anvers de 1885 on

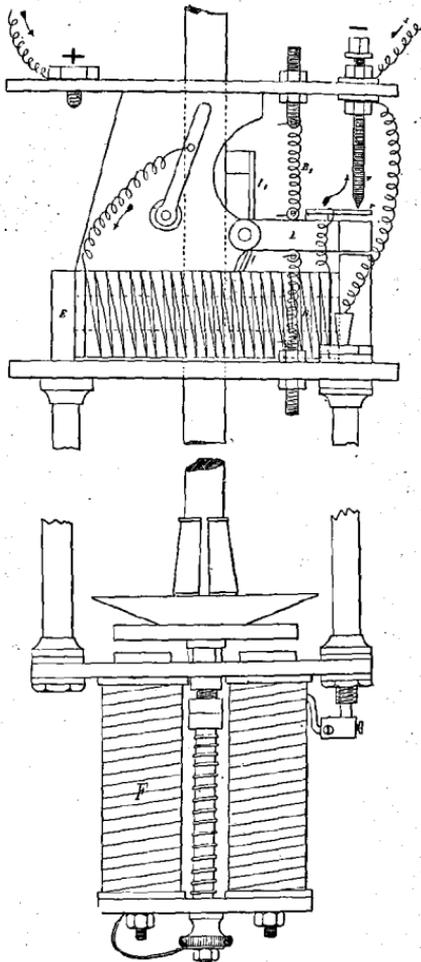


Fig. 12. — Régulateur Pieper.

seule machine dynamo-électrique Edison de 110 volts et 160 ampères actionnait 38 lampes à arc Pieper de 3,5 ampères et 50 lampes à incandescence Edison.

Régulateur à dérivation Gôard.—Le régulateur à dérivation de M. Gôard se compose d'un cadre CDEG suspendu par deux ressorts R R' à un plateau supérieur de la lampe (fig. 13). Sous ce plateau est fixé un électro-aimant à fil fin monté en dérivation. Son noyau est creux et il est traversé par le charbon supérieur. C'est directement sur ce charbon qu'agit le frein *f* fixé à un levier IS pouvant osciller autour du point O; l'extrémité du levier est reliée à l'armature supérieure B de l'électro-aimant par le ressort *r*.

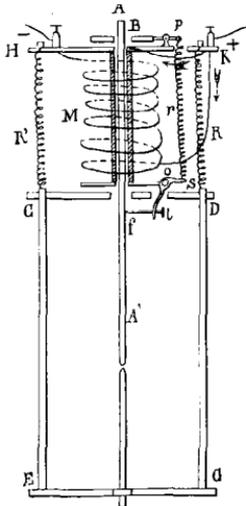


Fig. 13. — Régulateur à dérivation Gôard.

La traverse supérieure CD du cadre CDEG constitue une deuxième armature de l'électro-aimant. Au repos, le frein agit sur le charbon supérieur et l'arrête dans sa chute, il n'y a pas contact entre les deux charbons. Quand le courant est lancé dans l'appareil, il passe dans la dérivation, l'électro attire ses armatures, l'armature CD se relève et entraîne avec elle le charbon inférieur. L'armature B attire relève le ressort *r*, fait basculer le levier IS et dégage le charbon supérieur qui tombe jusqu'au contact.

Dès que le courant quitte la dérivation le frein reprend son action et fixe le charbon supérieur; l'armature CD n'étant plus attirée, le charbon inférieur redescend à sa position initiale. La course de l'armature CD correspond à l'écart nécessaire au bon fonctionnement de l'arc.

Régulateur à dérivation Bûrgin. — Le petit charbon supérieur (seul mobile) est suspendu à une ficelle passant sur une poulie de renvoi *p* et se courbant sur le tambour T d'un treuil, portant à l'une de ses extrémités une roue P d'un grand diamètre (fig. 14). Le treuil est porté par un parallélogramme articulé ABCD. Le côté vertical AB est formé par un électro-aimant à fil fin M monté en dérivation sur le

circuit principal. Le pôle supérieur A de l'électro aimant porte la chape de la poulie *p*. Comme le treuil T et la roue P, *p* est solidaire des mouvements du parallélogramme ABCD. En regard des pôles A et B de l'électro M, et un peu au-dessus, sont disposés les pôles d'un électro-aimant en fer à cheval NN à gros fil placé dans le circuit de la lampe. L'enroulement des fils sur les électros est fait de telle sorte que les pôles en regard sont de même nom.

Au repos, le charbon supérieur descend jusqu'au

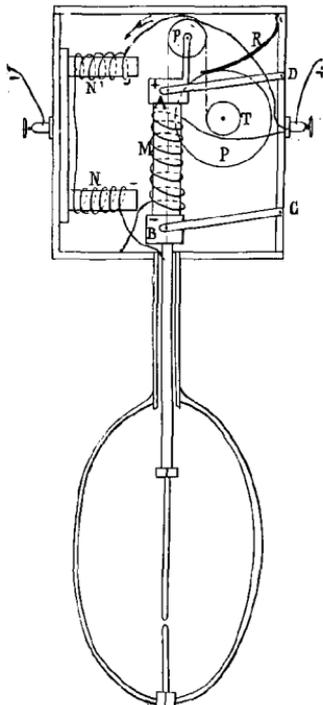


Fig. 14. — Régulateur Bûrgin.

contact avec le charbon inférieur. Dès que le courant passe dans la lampe, il traverse l'électro à gros fil dont les pôles attirent ceux de l'électro-aimant à fil fin M qui n'est plus traversé par le courant. Le parallélogramme est relevé et la roue P vient s'appuyer sur le ressort R formant frein jusqu'à ce qu'une position d'équilibre soit obtenue. L'arc étant formé, l'équilibre subsistera jusqu'au moment où, par suite de l'accroissement de la résistance de l'arc, l'intensité du courant dérivé devient assez grande pour que la répulsion entre les pôles de même nom des deux

électro détermine un abaissement du parallélogramme; le frein, cessant alors d'agir sur la roue P, laissera tomber le porte-charbon qui rétablira l'écart normal.

Régulateur différentiel Gérard. — Dans le second type de régulateur Gérard, qui est différentiel (fig. 15), le charbon inférieur est complètement fixe, le porte-charbon supérieur est maintenu entre quatre goujons fixé sur deux bielles ff' et $f'f''$, articulées avec les traverses BB' . Ces traverses relient les noyaux III'

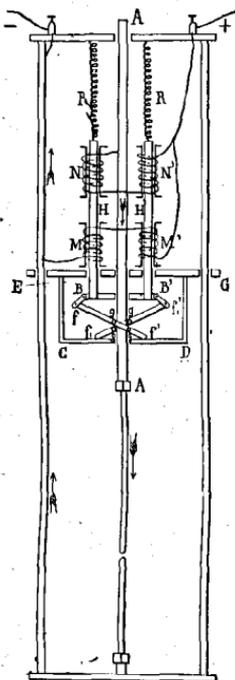


Fig. 15. — Régulateur différentiel Gérard.

communs à deux couples de solénoïdes, l'un MM' à fil fin monté en dérivation, l'autre NN' monté dans le circuit principal. Au moment de l'allumage, les charbons étant écartés, le courant passe dans MM' qui attire les noyaux HH' vers le bas, les bielles articulées glissant sur le plateau CD se rapprochent de l'horizontalité; les goujons gg dégagent le porte-charbon supérieur, qui descend jusqu'au contact. Dès que l'arc jaillit, le courant passe par l'électro à gros fil NN', le noyau est soulevé et les goujons pinçant de nouveau le porte-charbon le relèvent jusqu'à ce que l'écart normal soit obtenu. Le réglage de l'arc, à une longueur déterminée, se fait en modifiant la tension des ressorts RR' qui soutiennent les noyaux.

Ce modèle de régulateur est le plus avantageux de

ceux à dérivation imaginés par M. Gérard. M. comme ces appareils ne portent aucun organe assurant le passage du courant dans le cas où les charbons pourraient arriver au contact, il est nécessaire lorsqu'on monte les lampes en tension, de disposer au pied de ces lampes un appareil de sûreté ou veille automatique, sorte de commutateur à mercure fonctionné par le courant. Grâce à ce commutateur, lampe qui ne fonctionne pas se trouve isolée du circuit.

Régulateur différentiel Brush. — Le régulateur Brush (fig. 16) comporte un appareil de sûreté (Cut

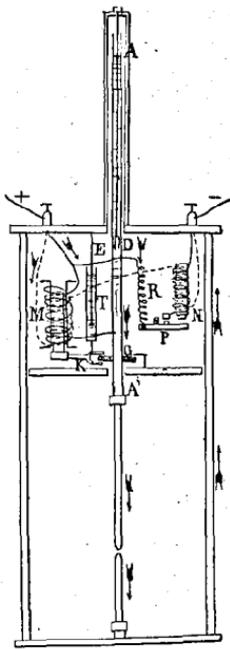


Fig. 16. — Régulateur différentiel Brush.

et un modérateur de la vitesse de chute du porte-charbon. Le solénoïde M est à double enroulement, l'un à gros fil dans le circuit, l'autre à fil fin enroulé en sens inverse et monté en dérivation. Le solénoïde à gros fil tend à soulever le noyau, celui à fil fin tend, au contraire, à le laisser tomber. Le noyau solénoïde porte une fourche K qui vient soulever la rondelle G au centre de laquelle passe le porte-charbon AA'. En se soulevant, la rondelle G coince le porte-charbon, le soulève et produit l'écart. Quand l'arc devient trop grand, le courant dérivé augmente le noyau s'abaisse, la rondelle cesse de coincer la tige AA', qui descend; lorsque l'écart normal est produit, un nouveau coinceage arrête la tige.

Pour adoucir les mouvements de la rondelle,

fourche K est fixée à un cylindre T contenant de la glycérine et dans lequel glisse, à frottement doux, un piston soutenu par une tige E reliée aux parties fixes de la lampe. La chute du porte-charbon est modérée par une disposition analogue : le porte-charbon est creux, il est rempli de glycérine, et un piston fixe y glisse à frottement; grâce à cette disposition, le charbon supérieur est facilement arrêté dès que l'arc a sa valeur normale.

L'appareil de sûreté est composé d'un électro-aimant à deux fils; l'un, très fin et très résistant, est placé dans le circuit dérivé. Si l'arc ne peut se former, cet électro attire son armature P qui, venant au contact de la butée S, ferme le circuit général par la résistance R, l'armature P et le gros fil de l'électro N. L'extinction d'une lampe n'entraîne donc pas celle des autres lampes du circuit.

La lampe Brush est simple, elle ne contient que des pièces en cuivre peu fragiles; elle convient donc à l'éclairage extérieur; elle se transforme facilement en lampe double; il suffit, en effet, de fixer deux fourches K au noyau du solénoïde M. Tune des fourches étant placée à un niveau un peu supérieur à l'autre; la rondelle correspondant à la première fourche se soulèvera plus que l'autre, et son porte-charbon se relevant davantage, c'est entre les charbons correspondant à la deuxième fourche que l'arc jaillira d'abord.

Régulateur différentiel Weston. — Ce régulateur (fig. 17) a une grande analogie avec le précédent.

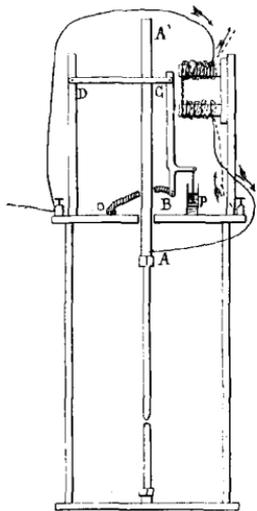


Fig. 17. — Régulateur différentiel Weston.

Le porte-charbon supérieur AA' est coïncé par une languette OB articulée en O et portant à son extrémité l'armature d'un électro-aimant différentiel. Cette armature est reliée par un bras CD aux parties fixes

de la lampe. OBGD forme donc un parallélogramme articulé. A l'allumage, l'électro-aimant attire l'armature et la languette OB, ce qui éloigne le charbon supérieur du charbon inférieur. Quand l'arc s'allonge, l'armature OB étant attirée moins énergiquement redescend; la languette OB laisse tomber le porte-charbon AA' pour l'arrêter dès que l'écart normal est obtenu. Le frein de la lampe Weston est le même que celui de la lampe Brush. Comme dans cette dernière, un piston P, relié à l'armature CB, glisse dans un cylindre contenant de la glycérine et modère ainsi la chute du porte-charbon.

Les freins des régulateurs que nous venons d'examiner ont tous l'inconvénient d'agir directement sur le porte-charbon. Il en résulte que si le frein n'agit pas au moment précis où l'écart est obtenu, il se produit un trop grand rapprochement des charbons, rapprochement d'autant plus considérable que la vitesse de chute du porte-charbon est plus grande.

MM. Brush et Weston ont remédié en partie à cet inconvénient par l'emploi d'un modérateur composé d'un piston glissant à frottement doux dans un cylindre rempli de glycérine. D'autres constructeurs ont appliqué à leurs régulateurs un frein n'agissant plus directement sur le porte-charbon, mais sur un organe intermédiaire animé d'une vitesse plus considérable. Dans ces conditions, si l'action du frein est un peu retardée, il n'en résulte qu'un déplacement très faible du porte-charbon.

Parmi les autres régulateurs à frein citons les suivants :

1° Les régulateurs monophotes de MM. Bargin, Gülcher, Ohmart, Bardon.

2° Les régulateurs à dérivation de MM. Cancé, Bardon, Gülcher, Scott-Snell, Akester, Andrews, J.-G. Lorrain, Schulze, Fein, Léléang, Hardt.

3° Les régulateurs différentiels de MM. Andrews, Abdank, Jeffery, Mondos, R.-H. Mather, Egger et Kremesky, Baissier, Rogers, Thomson et Houston, Kellholtz, Wenzel, Mornat, Leibold, Pieper, Newton, Statler, Weidon-Pendred, Plankuehe, Joel, Thornton et Romanze, Dick et Kennedy, Cook et Robinson, Walther, J. Roper, Mackenzie, Johnson, Lever, de Volfers, Noble.

(c) RÉGULATEURS A MOUVEMENT D'HORLOGERIE ET A FREIN.

Régulateur différentiel Chertemps. — C'est un régulateur à défilement d'horlogerie dont le dernier mobile est constitué par un volant sur lequel vient s'appuyer une tige en fer constituant le frein de l'appareil (fig. 18). Cette tige forme le noyau d'un solénoïde différentiel. Un électro-aimant à gros fil, placé dans le circuit principal, sert à produire l'écart initial.

Quand on lance le courant dans la lampe, si les charbons ne sont pas au contact, tout le courant passera dans le fil fin du solénoïde. La tige en fer placée dans l'intérieur sera relevée et cessera de s'appuyer sur le volant qui, dégagé, permettra le défilement du rouage. Le charbon supérieur descendra jusqu'au contact. Le courant traversera alors le gros fil du solénoïde différentiel et le solénoïde inférieur. Le premier, laissant retomber la tige en fer, arrêtera le mouvement d'horlogerie, le second attirera son armature qui porte le charbon inférieur et produira l'écart.

Régulateur différentiel Crompton et Crabb. — Il se compose essentiellement d'un solénoïde diffé-

rentiel dans l'intérieur duquel peut se mouvoir un tube de fer maintenu dans une position déterminée par un ressort antagoniste dont on règle la tension

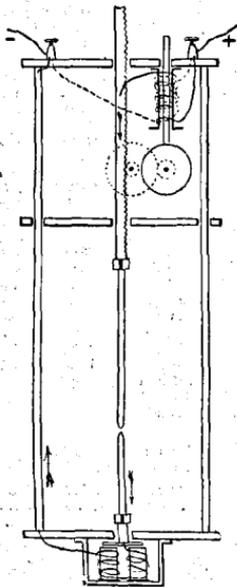


Fig. 18. — Régulateur différentiel Chertemps.

et la hauteur au moyen de deux vis, l'une inférieure et l'autre supérieure, placées à l'intérieur du solénoïde (Fig. 19). La tige du porte-charbon supérieur est taillée en crémaillère et commande un pignon sur l'arbre duquel est calée une roue à frein R; un levier K, mobile autour du point O et articulé en O', porte un sabot S et deux petites tiges invisibles sur la figure et dont la longueur est à peu près égale au rayon de la roue R; ce levier est commandé par le noyau du solénoïde.

Lorsqu'on envoie le courant dans le régulateur, la partie à gros fil du solénoïde soulève le noyau de fer, le levier K, et par suite la roue R, ce qui produit l'arc; le frottement du sabot S est suffisant pour empêcher la rotation de la roue R. Par suite de l'usure des charbons, l'arc grandit, et le fil fin du solénoïde, parcouru par une dérivation plus forte du courant, fait descendre le noyau de fer et avec lui le levier; l'axe de la roue R vient alors reposer sur les petites tiges placées à côté du sabot S, qui s'écarte, et le charbon descend; la même série de phénomènes se reproduit jusqu'à usure complète du charbon. Ce régulateur est généralement construit à deux paires de charbon commandés par le même solénoïde. Dans ce cas le mécanisme est double et l'un des leviers à frein a ses petites tiges intermédiaires plus courtes que celles de l'autre, de sorte que les deux paires de charbon brûlent successivement. Ce régulateur est très répandu en Angleterre.

Parmi les régulateurs à mouvement d'horlogerie à frein, citons encore ceux de :
MM. Abdank, Jurgensen, Bûrgin, Crompton

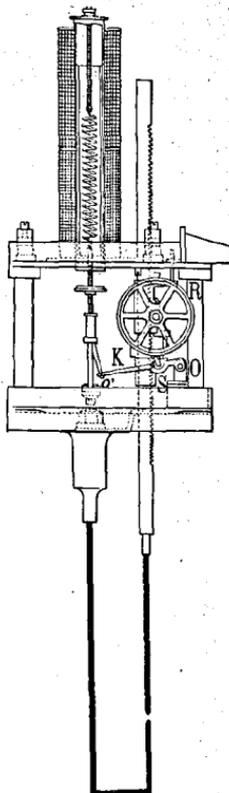


Fig. 19. — Régulateur Crompton et Crabb.

Schwerd et Scharnweber, Franz et Schmidt, M. Schneider, Clostermann, Geipel, Sellon, Balb, Folley, Sellner.

DEUXIÈME CATÉGORIE. — RÉGULATEURS A SOLÉNOÏDES.

Dans les régulateurs de ce genre, un au moins d'un porte-charbons est directement fixé sur le noyau d'un solénoïde dont il suit tous les mouvements verticaux. Les deux porte-charbons sont reliés entre eux de telle sorte que le charbon supérieur, se déplaçant d'une quantité déterminée, le porte-charbon inférieur se déplacera, en sens inverse, d'une quantité moitié

moindre. Le point lumineux est, en effet, généralement fixe dans ces régulateurs.

Régulateur monophote Jaspas. — Ce régulateur (Fig. 20), qui est une modification de la lampe Archérazu, se compose essentiellement d'un solénoïde vertical C dans lequel se meut une tige de fer doux B supportant le charbon inférieur. Celui-ci est relié à un axe mobile par une cordellette qui s'enroule sur une poulie d'un certain diamètre; le porte-charbon supérieur est relié au même axe par une cordellette s'enroulant sur une deuxième poulie d'un diamètre double de la première F; il en résulte que, lorsque le charbon supérieur descend, le charbon inférieur re-

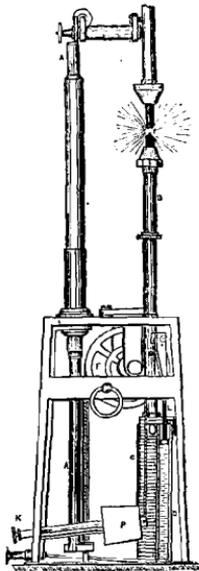


Fig. 20. — Régulateur monophote Jaspas.

monte, et vice versa. De plus, le porte-charbon inférieur est relié à une tige parallèle L portant un petit piston qui s'enfonce dans un tube de fer D rempli de mercure en laissant un certain jeu entre lui et les parois du tube. Cet organe remplit deux fonctions: il sert à amener le courant au charbon négatif et en même temps à rendre les mouvements des charbons gras et doux. Au repos, le poids du porte-charbon qui sert de moteur tire sur sa cordellette et maintient les charbons en contact; aussitôt que l'on fait passer le courant dans la lampe, le solénoïde placé dans le circuit entre en action et aspire la tige en fer du charbon inférieur, ce qui permet à l'arc de s'établir; à partir de ce moment l'équilibre se fait continuellement et automatiquement entre les deux forces contraires: pesanteur et aspiration du solénoïde. La force de cette aspiration varie avec le degré d'enfoncement de la tige

de fer; mais M. Jaspas y a remédié en plaçant à un endroit convenable d'une des poulies de renvoi un contrepois, qui est tour à tour moteur et résistant. On a disposé aussi un autre contrepois P relié à l'axe des poulies par une cordellette et mobile sur un bras de levier au moyen d'une tige fileté terminée par un bouton K placé en dehors de la lampe; ce contrepois, suivant la position qu'on lui donne, permet de régler à volonté la longueur de l'arc.

La lampe monophote du système Jaspas donne des résultats très satisfaisants.

Régulateur différentiel Jurgensen. — Ce régulateur (Fig. 21) ressemble dans son ensemble à la lampe Jaspas; mais il est différentiel, ce qui permet de placer des appareils de ce système en série sur un même circuit.

Les mouvements des porte-charbons sont rendus

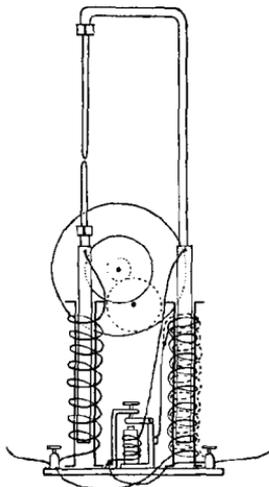


Fig. 21. — Régulateur différentiel Jurgensen.

solitaires par une corde dont les extrémités sont fixées aux porte-charbons et qui passe sur deux poulies dont l'une correspondant au charbon inférieur, qui est le charbon négatif, a un diamètre égal au rayon de l'autre. Un barillet à ressort, agissant sur l'arbre des poulies par l'intermédiaire d'un pignon denté, règle la sensibilité de l'appareil.

Chaque porte-charbon constitue le noyau d'un solénoïde. Le solénoïde dont le noyau est le porte-charbon positif est enroulé de deux fils, l'un gros dans le circuit, l'autre fin en dérivation. Ces deux fils enroulés en sens inverse constituent un solénoïde différentiel qui commande le mouvement de rapprochement des charbons. L'écart initial à l'allumage est obtenu par l'action du solénoïde à gros fil placé dans le circuit. Un appareil de sûreté placé entre les deux solénoïdes sert à assurer le passage du courant

d'une borne à l'autre de la lampe, alors même que le contact des charbons ne pourrait se réaliser. Enfin, pour rendre plus doux le déplacement des charbons, le porte-charbon inférieur est relié à un piston plongeant dans un cylindre contenant du mercure.

Régulateur différentiel Piette et Krizik. — Les porte-charbons sont reliés par une corde passant dans les gorges de deux poulies P, P' placées à la partie supérieure de l'appareil (fig. 22). Les deux charbons sont mobiles; le point lumineux est fixe. Les porte-charbons forment les noyaux de deux solénoïdes M et N, le premier composé de deux fils, l'un S gros et court dans le circuit principal, l'autre S' très résistant

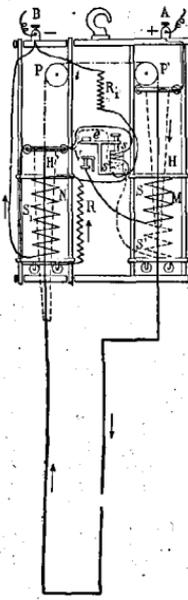


Fig. 22. — Régulateur différentiel Piette et Krizik.

placé en dérivation. Le solénoïde N est constitué par un fil peu résistant placé dans le circuit.

L'action des solénoïdes sur leurs noyaux doit rester constante, quelle que soit la position de ces derniers; à cet effet on a donné une forme conique aux noyaux. Ils portent des galets glissant à frottement doux sur des guides verticaux. Les guides du porte-charbon négatif sont isolés du corps de la lampe. Un appareil de sûreté analogue à celui de la lampe Jaspas sert à assurer le passage du courant, alors même que les charbons ne pourraient arriver au contact. Au repos, l'extrémité de l'armature du cutoff repose sur la vis V. A l'allumage, les charbons n'étant pas en contact, le courant passe dans le solénoïde S' par la vis V, l'armature e, le support s du cutoff, la résistance R, et se rend à la borne négative B. Le solénoïde S attire le noyau H, les charbons se rapprochent jusqu'au

contact. A ce moment le courant passe à travers les charbons, dans la résistance R, et se bifurque; une partie traverse le solénoïde S et se rend à la borne négative; l'autre partie traverse le solénoïde à gros fil s de l'appareil de sûreté et va à la borne négative. Le solénoïde s attirant son armature ouvre le circuit dérivé passant par la résistance R. Le solénoïde S' attirera alors son noyau H', ce qui produira l'écart entre les charbons; cet écart se maintiendra sous l'action différentielle du solénoïde S et du solénoïde S' placé en dérivation qui agit sur le noyau H, charbon supérieur.

Si, par suite d'un accident, les charbons ne peuvent se rapprocher, le courant dérivé augmente dans le solénoïde s de l'appareil de sûreté, antagoniste du solénoïde s, relèverait l'armature et fermerait le circuit par le cutoff. Les autres lampes à circuit ne seraient donc pas influencées. Enfin, quand les charbons sont à peu près complètement consumés, la lampe se ferme automatiquement: les galets du noyau H' viennent, en effet, en contact avec une partie isolée t du guide; le courant, cessant de passer dans les noyaux, traverse les solénoïdes dérivés S' s' qui ferment le cutoff.

Parmi les régulateurs à solénoïdes, citons :

- 1° Les régulateurs monophasés de MM. Aréhreau, Gaiffe, Duboscq, de Magneville, Mandon.
- 2° Le régulateur à dérivation de M. Matler.
- 3° Les régulateurs différentiels de MM. Piette et Krizik (déjà décrit) dit aussi lampe Pilsen; et de M. Pabst.

3° CATÉGORIE. — RÉGULATEURS A MOTEURS ÉLECTRIQUES.

Nous nous bornerons à citer ceux de MM. Théophile Schuckert, Gray, Street et Maguire, Ashcroft

4° CATÉGORIE. — RÉGULATEURS A PISTONS ET A LIQUIDES.

Régulateur Lacassagne et Thiers. — Dans ce régulateur le porte-charbon inférieur forme la tige d'un piston mobile dans un cylindre rempli de mercure; ce piston, qui est en fer comme le cylindre descend lorsque le mercure s'écoule. Le charbon supérieur est fixe. Le cylindre est relié à sa partie inférieure par un tube en caoutchouc avec un réservoir rempli de mercure. Une palette en fer doux reposant sur l'un des noyaux d'un électro-aimant, est sollicitée d'une part par cet électro et d'autre part par un deuxième électro-aimant agissant en sens contraire du premier. Cette palette, par l'intermédiaire d'un levier relié à son extrémité, presse sur le tuyau en caoutchouc qui conduit le mercure du réservoir au cylindre et règle ainsi l'écoulement du liquide. Une vis spéciale sert à rapprocher ou à éloigner le deuxième électro de la palette et à régler ainsi l'action de cet électro sur son armature. Le premier électro est traversé par le courant total, le deuxième est placé en dérivation; pour diminuer l'intensité du courant qui actionne la lampe, on intercale une résistance constituée par un fil de fer fin enroulé sur deux cylindres creux en verre. Voici maintenant comment fonctionne la lampe: au moment où on l'allume, le premier électro qui est très puissant attire la palette avec assez de force pour serrer complètement le tube de caoutchouc et empêcher l'écoulement du mercure; mais dès que l'arc a atteint une certaine longueur, sa résistance augmentant, il y a affaiblissement du premier électro, et le deuxième électro,

placé en dérivation et dont la résistance n'a pas changé, peut alors attirer à son tour la palette; le tube en caoutchouc est donc pressé moins fortement, le mercure s'écoule du réservoir qui le contient dans le cylindre dont le piston porte le charbon inférieur et ce dernier est par suite soulevé. L'arc diminuant alors de résistance, le premier électro-aimant reprend sa puissance, arrête de nouveau l'écoulement du mercure, et ainsi de suite jusqu'à usure complète des charbons. Lorsqu'on veut mettre de nouveau le régulateur en état de fonctionner, on vide le cylindre au moyen d'un robinet spécial, on garnit les porte-charbons et l'on reverse dans le réservoir le mercure extrait du cylindre. Ce régulateur est très simple et d'une grande sensibilité, mais il présente l'inconvénient de nécessiter le reul du charbon à la main après chaque extinction.

Régulateur Schuckert (Hermann Sadiasck et Wikullil). — Le régulateur Schuckert est encore

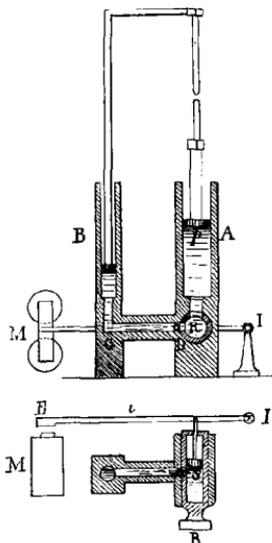


Fig. 23. — Régulateur Schuckert.
(Coupes longitudinale et horizontale.)

une lampe monopole spécialement construite pour être placée sur des locomotives et pour résister aux oscillations qui se produisent pendant leur marche.

Le point lumineux est fixe; les deux porte-charbons sont supportés par des pistons glissant dans des cylindres A et B contenant de la glycérine (fig. 23). Ces cylindres communiquent entre eux par leur partie inférieure; ils sont reliés par une conduite horizontale CD. Le point lumineux de la lampe étant fixe, ainsi qu'il est dit plus haut, le porte-charbon supérieur (charbon positif) devra avoir un déplacement double de celui du charbon inférieur. Pour cela le

piston qui supporte le charbon supérieur et le cylindre B dans lequel se ment ce piston ont une section égale à la moitié de la section de l'autre piston et du cylindre A. Le piston, actionné par le porte-charbon supérieur, tend à refouler le liquide sous l'autre piston et à le soulever. Dans la base du cylindre A et sur le passage de la conduite CD est placé un robinet R à clef creuse, qui suivant sa position dégage plus ou moins l'orifice d'écoulement du liquide du cylindre B dans le cylindre A. A chaque diamètre de charbon, à chaque valeur de l'intensité du courant correspondra une position déterminée pour le robinet R. Mais la combustion des charbons n'étant pas absolument régulière, il pourrait en résulter des variations d'écart trop considérables. On les atténue en modifiant automatiquement la section de l'orifice O de la manière suivante : la clef du robinet R est cylindrique intérieurement et elle contient un piston S dont la tige est reliée à un levier l mobile autour du point I et portant à son extrémité libre l'armature E d'un électro-aimant M placé dans le circuit. Si l'écart devient trop grand entre les charbons, l'intensité du courant diminue, l'armature E est moins vivement attirée et le levier l en s'éloignant entraîne le piston S qui dégage davantage l'orifice O. Le contraire se produit si l'écart des charbons devient trop faible.

Nous citerons encore parmi les régulateurs à pistons et à liquides ceux de MM. Pascal, Marçais et Duboscq, Moléra et Gebrian, Way.

5^e CATÉGORIE. — RÉGULATEURS DE TYPES SPÉCIAUX.

Nous nous bornerons à citer les régulateurs de MM. Siatte, Baro, de Baillache, Delay, Solignac, A. Gérard, Rapiéff, Killingworth-Hedges, Clerc (dit LAMPE SOLEIL), Dion, Werdernann, Varley, Heinrich, Puviland, W. Lahmeyer, J. A. Brockie, et nous décrirons le régulateur imaginé par M. Ch. Pollak.

Dans cet appareil, le mouvement qu'il est nécessaire de communiquer aux charbons pour fournir l'arc électrique et pour le maintenir est obtenu par la dilatation thermique des fils rhéophores. A cet effet, le courant est amené à chacun des charbons par un fil de laiton tendu rectilignement et suffisamment mince (0,45 millimètre de diamètre) pour s'échauffer sensiblement par le passage du courant. Le fil est maintenu tendu par l'action d'un ressort. Ce ressort est constitué par un gros fil, également en laiton, lequel est enroulé en hélice de telle façon qu'il forme à la fois ressort ten-eur, levier amplificateur et porte-charbon. Le second charbon est disposé comme le premier; l'appareil est construit symétriquement. Cela posé, les charbons étant primitivement en contact, dès qu'on ferme le circuit les fils rectilignes s'allongent thermiquement et les charbons s'écartent. L'arc se forme; la résistance qu'il introduit dans le circuit limite l'échauffement des fils rectilignes et, par suite, leur allongement; l'arc demeure dès lors constant. Au fur et à mesure que l'usure des charbons se produit, l'accroissement de résistance qui en résulte a pour conséquence une diminution de l'allongement thermique et, par suite, un rapprochement correspondant des charbons. L'appareil ainsi construit règle l'arc électrique pendant trois heures de suite. Le rallumage y est automatique; le fonctionnement en est régulier et satisfaisant. Mais il faut ajouter que, conformément à la théorie, l'intensité électrique et lumineuse va en croissant lentement pendant la durée du fonctionnement.

RÉGULATEUR ÉLECTRIQUE DE LA PRESSION DU GAZ. — Appareil électrique régularisant la pression du gaz dans les tuyaux de distribution. On a imaginé un assez grand nombre d'appareils de genre. Nous citerons notamment :

1° Le système de MM. Giroud et Bréquet, datant de 1835, qui indique les variations de pression et règle automatiquement cette pression en ouvrant ou fermant plus ou moins, à l'aide d'une vanne mue par une influence électro-magnétique, l'orifice d'écoulement du gaz à partir des gazomètres, et dont voici le principe : au point du réseau de distribution où l'on désire que la pression se maintienne dans des limites déterminées, on installe un manomètre à mercure et à flotteur faisant fonction de transmetteur en agissant sur deux circuits distincts suivant que l'aiguille du manomètre indique la pression maxima ou minima qu'il s'agit de ne pas dépasser. Ces deux circuits aboutissent à un moteur à poids situé à l'usine à gaz près de la vanne de la conduite de distribution, et pouvant tourner dans deux sens différents sous l'influence d'une double action électro-magnétique.

2° Le système de M. Servier, se composant, comme le précédent, d'un manomètre indicateur de la pression, fermant un circuit correspondant à un avertisseur placé à l'usine; ce système n'est donc pas automatique.

3° Le système de M. Launay, consistant dans une sonnerie d'alarme mise en action, sous l'influence d'une pression déterminée du gaz, par une pile qui agit seulement au moment où cette pression atteint une limite fixée à l'avance.

4° Le système de MM. Chardin et Prayer, comprenant, comme celui de M. Giroud, un manomètre à flotteur, à air libre, en communication avec la conduite de gaz. Le flotteur est muni d'une lige verticale dont l'extrémité oscille entre deux petits contacts en platine qui, étant rencontrés par la lige lorsque le manomètre indique la pression maxima ou minima, ferment deux circuits agissant sur un régulateur dans deux sens différents, de manière à fermer ou à ouvrir la valve. Pour cela on emploie un mécanisme d'horlogerie commandé par un électro-aimant; ce mécanisme est disposé de façon à se remonter lui-même automatiquement. Nous ne pouvons entrer dans la description détaillée de ce système; nous nous contenterons de dire qu'il a été appliqué au chemin de fer d'Orléans et qu'il peut servir de modérateur précis mis à la disposition du consommateur. Ce dernier, au moyen de deux conjoncteurs de courant, commandant l'un l'ouverture, l'autre la fermeture de la valve, règle à sa guise toute la consommation.

RÉGULATEUR DU SYNCHRONISME DES APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES. — Organe régulateur du mouvement de deux appareils télégraphiques qui doivent marcher synchroniquement. De ce nombre sont les régulateurs de MM. Hughes, d'Arincourt, Meyer, Baudot, etc.

Les premiers appareils de ce genre, inventés par MM. Vall, Siemens, Theyler, consistaient en un pendule oscillant entre les pôles d'un électro-aimant. Ce pendule commandait une roue d'échappement et mettait en mouvement les deux mécanismes. A cet effet les électro-aimants de ces mécanismes étaient intercalés dans un même circuit disposé de telle sorte que les électros ne pussent agir qu'au moment où les deux pendules étaient arrivés à l'extrémité de leur course oscillante. On obtenait bien, par ce moyen, la synchronisation des deux appareils, mais leur marche était saccadée et lente. M. Caselli reprit cette disposition en 1836

pour son *télégraphe autographique*. (V. *TÉLÉGRAPHIE*.)

Le principe de la synchronisation par échappement électro-magnétiques a été abandonné à cause de lenteur des mouvements, et on mit à profit l'ine pendulaire. Les premiers appareils télégraphiques mouvements synchroniques de ce système sont ceux M. Theyler (1835); puis vinrent : le système de M. I noir; celui de M. Hughes (1839) qui, perfectionné produit d'excellents résultats; celui de MM. Desg et Digne (1861), appliqué aussi en montagne électrique et dont la caractéristique consiste dans l'emploi d'un mécanisme correcteur qui à chaque tour du érier mobile effectue électriquement un arrêt de ce des moteurs qui allait le plus vite, afin de les fa repartir exactement ensemble; le système de synchronisation imaginé par M. d'Arincourt pour son té graphie autographique. Ce procédé, qui consiste princpio à relier l'une des branches d'un long é pason à tiges flexibles au mécanisme d'horlogerie; l'autre branche restant libre, est basé sur ce fait : les deux branches d'un diapason vibrent toujours synchroniquement, de sorte que les vibrations de branche libre restant isochrones suffisent pour maintenir celles de la branche reliée au mécanisme d'horlogerie malgré les entraves apportées par son mouvement irrégulier.

Citons encore le système de M. Meyer et celui M. Baudot, et enfin la nouveauté de M. Leco appliquée par M. Delany à son *télégraphe multiple* (V. *TÉLÉGRAPHIE*.)

RÉGULATEUR ÉLECTRIQUE DE TEMPÉRATURE. — Appareil destiné à maintenir une température constante dans une enceinte quelconque.

Il existe un grand nombre d'appareils de ce genre fondés sur le principe suivant : l'organe régulateur proprement dit consiste presque toujours en un réservoir à air ou à liquide placé dans l'enceinte et en communication avec un tube en U contenant du mercure et placé en dehors. Dans le fond du tube aboutit un fil de platine communiquant avec l'un des pôles d'une pile, un second fil plonge dans la branche ouverte peut s'enfoncer plus ou moins suivant la température que l'on désire obtenir; ce fil est relié à l'autre pôle de la pile par l'intermédiaire de l'appareil régulateur proprement dit. Lorsque la température prévue est dépassée, le mercure monte dans le tube en U, ferme le circuit de la pile, et le courant fait alors fonctionner le régulateur. (Valve, registre, extincteur, etc.)

Signalons aussi le *Régulateur de M. Corneloup* qui se compose d'un thermomètre placé dans l'enceinte à chauffer et disposé pour donner trois contacts indépendants pouvant être mis à volonté à tels degrés que l'on désire. Le premier et le troisième contacts ne sont que des contacts de contrôle du fonctionnement du régulateur, qui est actionné par deux autres contacts. Le régulateur modifie automatiquement le débit de l'air qui alimente la combustion du foyer. L'air extérieur n'arrive à ce dernier que par un long tube fermé par un obturateur commandé par un électro-aimant. Le deuxième contact ouvre ou ferme le circuit de l'électro-aimant une source quelconque d'électricité. Tant que l'échauffement de l'enceinte est insuffisant, une sonnerie de contrôle tinte; que l'arrive au degré voulu, la sonnerie s'arrête, l'électro-aimant fonctionne, la combustion se ralentit, et ainsi de suite.

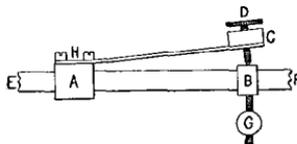
M. Corneloup emploie pour actionner l'appareil un petit couple Daniell ou une pile thermo-électrique dont les soudures paires sont à l'intérieur de l'enceinte et les soudures impaires à l'extérieur; la source d'électricité ne demande plus alors aucune manipulation, la chaleur de l'étuve fournissant l'électricité n

cessaire au fonctionnement du régulateur et des sonneries de contrôle. Le système de M. Corneloup comporte de nombreuses et intéressantes applications, notamment à l'insévation artificielle, opération pour la réussite de laquelle la constance de la température est une condition essentielle.

RÉGULATEUR DE VITESSE. — Appareil servant à régulariser la marche d'une machine quelconque.

Il a été combiné une grande quantité d'appareils de ce genre; nous n'en citerons donc que quelques-uns à titre d'exemples.

1° **Régulateur de M. Marcel Deprez.** — Il est simple et efficace, il a été combiné pour régulariser la marche du moteur Deprez. Il se compose d'une lame élastique H.C. fixée à l'une de ses extrémités sur l'axe A qui est entraîné dans le mouvement de rotation du moteur, et dont l'autre extrémité porte une petite masse métallique traversée par une vis D qui s'appuie sur un butoir B. A l'aide de la vis on peut tendre à volonté la lame H.C., c'est-à-dire augmenter ou diminuer la pression de la vis sur son butoir. Par suite de la rotation de l'arbre A.P., il se développe sur la masse C une force centrifuge qui a pour effet de



Régulateur de M. Marcel Deprez.

diminuer la pression exercée contre le butoir B par la vis D, et cette pression devient nulle pour une vitesse angulaire ω facile à déterminer. Si cette vitesse devient supérieure à ω , la vis D cesse de toucher le butoir. Si donc on suppose que l'axe A.F. soit mis en mouvement par un moteur électrique animé par un courant obligé de passer de A en B par la lame H.C., on comprend que tant que la vitesse de l'axe A.F. sera inférieure à ω le courant passera; que (en supposant que le courant ait une intensité supérieure à celle nécessaire pour imprimer au moteur la vitesse ω) la vitesse du moteur s'accroîtra; que lorsque cette vitesse atteindra la valeur ω , la vis D touchera encore le butoir B mais sans le presser, ce qui permettra encore au courant de passer; que dès que la vitesse ω sera dépassée, le contact des deux pièces D et B n'existant plus, le circuit sera rompu, ce qui aura pour conséquence de diminuer la vitesse jusqu'au moment où cette vitesse, étant devenue égale ou inférieure à ω , le contact sera de nouveau rétabli, et ainsi de suite. La vitesse du moteur variera donc entre deux limites très rapprochées.

Voici comment M. Deprez montre que les variations de vitesse tolérées par son régulateur peuvent être réduites autant qu'on le désire :

« Soit f la pression exercée par la vis D sur son butoir B; soit m la masse de la vis et du bloc de métal C; soit r la distance du centre de gravité de l'ensemble des deux pièces au centre de l'axe de l'arbre A.F. On a $f = m \omega^2 r$ (1). Si on désigne par df l'accroissement de pression nécessaire pour assurer complètement le passage du courant, accroissement qui nécessitera une diminution de vitesse $d\omega$, on aura :

$$df = -2m\omega r d\omega.$$

D'où on tire :

$$d\omega = -\frac{df}{2m\omega r} = -\frac{d\omega}{2m\omega r}.$$

Or, $\frac{d\omega}{\omega}$ est la variation relative de la vitesse ω , et on voit que cette variation sera d'autant moindre pour une même valeur de df que $m \omega^2 r$ sera plus grand.

De l'équation (1) on tire :

$$\omega = \sqrt{\frac{f}{mr}}.$$

On peut donc faire varier ω en faisant varier l'une des trois quantités f , m ou r . Il est plus facile de faire varier f en tournant plus ou moins la vis D.

Pour éviter des trépidations qui troubleraient le fonctionnement de son régulateur, M. Deprez a équilibré l'ensemble du ressort H.C. et de la masse C en plaçant à l'opposé de cette dernière un petit contre-poids G mobile le long d'une vis.

Nous ajoutons que M. Deprez a appliqué son système de régulateur à toute sorte de moteurs, même non électriques.

2° **Régulateur de M. Brush.** — M. Brush a construit un régulateur de vitesse applicable à un moteur électrique de son système, dont la vitesse reste constante quel que soit le travail effectué.

Le collecteur de ce moteur est relié aux différentes sections de l'anneau par des fils flexibles; le réglage de la position de ce collecteur, par rapport aux balais qui sont fixes, s'obtient à l'aide d'un régulateur agissant comme celui d'une machine à vapeur, c'est-à-dire modifiant la position du collecteur dans un sens convenable, suivant que la vitesse tend à augmenter ou à diminuer, jusqu'au moment où cette vitesse est revenue à son état de régime.

3° **Régulateur de M. Mouliné.** — Ce système, imaginé en 1863, est applicable aux machines à vapeur. Le régulateur à force centrifuge de la machine est placé à l'extrémité d'un arbre vertical mis en mouvement par le moteur, et qui réagit par l'intermédiaire de son collier sur une bascule à fourchette terminée par une godille de commutateur. Cette godille oscille entre deux contacts correspondant à deux électro-aimants circulaires de Nickels adaptés sur l'axe de rotation du régulateur, et qui mis en action suivant que la vitesse du moteur est trop grande ou trop faible, peuvent réagir par l'intermédiaire de deux cylindres de fer doux sur le mécanisme de fermeture ou d'ouverture de la valve d'admission de vapeur. Les deux électro-aimants circulaires tournent dans un même sens; pour les faire agir d'une façon inverse sur le mécanisme de réglage d'admission de la vapeur, on met, en temps ordinaire, les cylindres de fer qui leur servent d'armature hors de contact avec leurs pôles annulaires, par de fins ressorts à boudin; et ces cylindres ne communiquent le mouvement à la roue de manœuvre de la valve qu'en deux points diamétralement opposés de la circonférence. (Du Moncel.)

4° **Régulateur de M. Courtin.** — Ce système, désigné par son auteur sous le nom de **régulateur parabolique électrique**, combine son action avec celle du régulateur à force centrifuge du moteur. (Du Moncel.)

5° **Régulateur de M. Napoli.** — Ce régulateur agit sur la valve d'admission de la vapeur. Cette valve est commandée par une vis sans fin qui reste immobile quand la machine tourne à la vitesse voulue, mais qui augmente ou diminue la section de pas-

ssage de la vapeur quand la vitesse de la machine diminue ou augmente. A cet effet l'arbre de la vis porte à chacune de ses extrémités un électro-aimant tubulaire en face de deux poulies folles sur le même arbre et tournant chacune en sens contraire. Le manchon du régulateur à boules commande une lame de ressort dont le jeu est limité par deux boutons. Le contact avec le bouton supérieur établit un courant avec l'un des électro-aimants, la poulie folle y adhère et l'arbre de la vis est entraîné dans un sens; si le bouton inférieur est touché, c'est l'autre électro-aimant qui entraîne la vis en sens contraire. Un seul couple Leclanché suffit pour mettre en mouvement ce régulateur. (Jury de l'Exposition de 1884.)

8° Régulateur électrique de M. G. Brown. — Ce régulateur a été spécialement construit pour les machines des navires à vapeur. En cas de tangage, l'arrière du navire sortant de l'eau, la vitesse de la machine s'accroît, et quand le navire replonge, l'arbre de l'hélice et la machine sont en danger. Pour

éviter cet inconvénient, l'inventeur emploie des contacts électriques, l'un isolé, placé sur la coque du navire près de l'axe de l'hélice, l'autre en communication avec la coque et toujours immergé. Qui l'arrière du navire est dans sa position normale, l'établissement d'une communication entre les deux contacts, forme un circuit dans lequel est intercalée la MACHINE DYNAMO et un électro-aimant dont l'armature est au contact. Quand l'arrière du navire se relève, le circuit est rompu, l'armature de l'électro-rég par un ressort antagoniste agit sur les organes tant en mouvement une petite machine à vapeur qui ferme la soupape de la machine du navire. Cette soupape est ouverte dès que le navire a repris sa position normale. En disposant convenablement plusieurs contacts on peut régler le jeu de la soupape suivant que l'hélice est plus ou moins immergée. (*Elect. technische Zeitschrift.*)

RÉGULATEUR MAGNÉTIQUE d'admission à vapeur de MM. Clarke, Chapman, Parsons et C

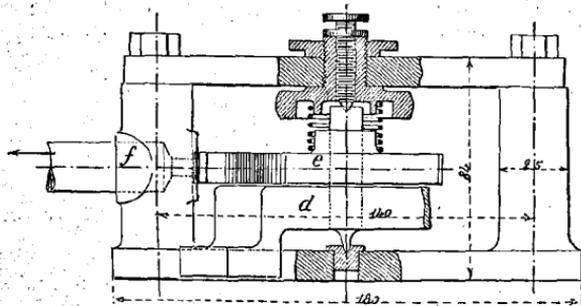


Fig. 1.

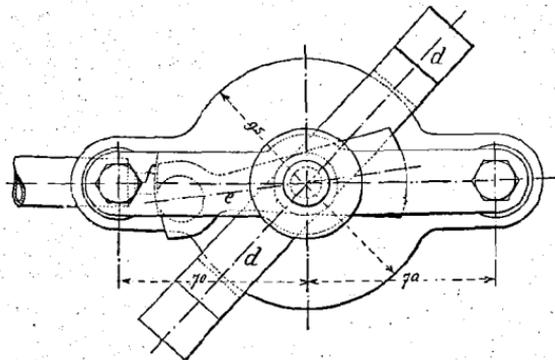


Fig. 2.

— On peut mettre à profit la puissance attractive des AIMANTS ou des ÉLECTRO-AIMANTS pour régler automatiquement la marche d'une machine à vapeur commandant directement une DYNAMO, de façon à main-

tenir constante la FORCE ÉLECTROMOTRICE du courant fourni par cette dernière. MM. Clarke, Chapman, Parsons et C^{ie} ont imaginé un régulateur de ce genre qu'ils ont appliqué à leur turbine à vapeur et ma-

chine électrique pour éclairage électrique. (V. MACHINE.)

Ce régulateur fournit une solution élégante du problème; il agit directement sur la valve d'admission de vapeur du moteur à vapeur, tout en subissant l'influence de la puissance électrique. Son action est si prompte et si précise qu'on peut éteindre toutes les lampes placées dans le circuit, sans feu, puis les rallumer en totalité, sans constater une différence très appréciable dans l'intensité de la lumière.

Au-dessus de la pièce polaire supérieure des électro-aimants de la dynamo fait saillie une pointe métallique qui influence par attraction magnétique une pièce de fer doux *d*, calée sur une tige à pivot (*fig. 1* et 2). Celle-ci porte en outre une sorte de levier à fourchette *e* participant au mouvement angulaire que décrit le fer doux. Lorsque la puissance du courant augmente, par suite d'un accroissement de vitesse pro-

Dans aucun cas la machine ne peut s'emporter, car la fermeture complète de l'orifice s'entraîne en même temps l'obturation de la conduite de vapeur. On peut régler à volonté l'action du régulateur magnétique. A cet effet les spires d'un ressort sont réunies d'une part à la fourchette *e* (*fig. 1*), et d'autre part à une douille fileté dans le chapeau de l'appareil. En bandant plus ou moins ce ressort, on arrive à déterminer facilement la position précise de la fourchette pour une marche normale et à l'obliger à revenir toujours au point de départ après une période de régularisation. Un autre ressort à spirale agit sur la tige *h* (*fig. 3*) pour aider à l'action de la membrane et contribuer à maintenir la valve d'admission de vapeur dans sa position de régime. Ce régulateur agit avec une précision remarquable; il n'admet que la stricte quantité de vapeur utile nécessaire à la production du courant exigé pour les lampes en service. (*Revue industrielle.*)

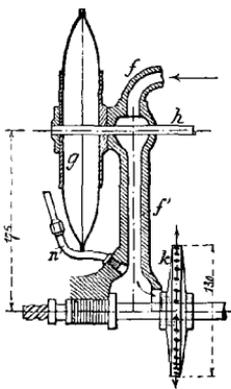


Fig. 3.

venant le plus souvent de l'extinction d'un certain nombre de lampes, l'attraction magnétique augmente également et le barreau se rapproche de la pointe. Des effets inverses se produisent lorsque la résistance de la machine augmente. La fourchette *e* suit le déplacement du fer doux, et l'une de ses branches vient obturer plus ou moins l'ouverture d'un tuyau *f* débouchant à son autre extrémité devant un soufflet. D'autre part, sur l'arbre de la machine à vapeur est calée une petite pompe à air *k* (*fig. 3*), qui aspire l'air admis par la conduite *f* dans le soufflet. Cette succion s'effectue dans le tube *f* et à travers des ouvertures magnétiques vers le moyen du ventilateur qui refoule librement cet air à l'extérieur. Or, le débit du vent est sensiblement constant, tandis que le volume d'air admis varie selon le degré d'ouverture de l'orifice *f*; il en résulte qu'en cas d'étranglement partiel de ce dernier, provenant d'un excès de vitesse de la machine, la membrane extérieure du diaphragme *g* se rapproche de l'autre qui est fixe et la tige *h* recule à la première se déplace de gauche à droite. Cette tige en commande une autre calée sur la tige du papillon qui règle l'admission de la vapeur dans le générateur

RÉGULATEUR PHOTO-ÉLECTRIQUE DE LA CHALEUR. — Appareil imaginé par M. P. Germain pour connaître exactement le degré de température des fours à moules employés pour la cuisson des vitreaux peints. Il repose sur l'action exercée par la lumière sur le sélénium. On dispose au milieu du moule un disque de verre, et devant ce disque, aussi loin que possible et dans le prolongement de l'axe d'une lunette, se trouve une boule de sélénium enfermée entre deux calottes sphériques en laiton, de façon que sa tranche visible soit en partie dans l'axe de la lunette et en partie au foyer du réflecteur. Le sélénium est relié à une pile thermo-électrique de 30 éléments cuivre et fonte amalgamée, recouverts d'un côté la chaleur du moule et mise du côté opposé en rapport avec un vase poreux plein d'eau qui maintient de ce côté la température de la pile à peu près constante. Le courant thermo-électrique développé peut être considéré comme sensiblement proportionnel à l'élevation de la température; un GALVANOMÈTRE indique la marche croissante de la température; en même temps un CONDENSATEUR se charge et est déchargé automatiquement à un certain moment par un déchargeur mû par un mouvement d'horlogerie. Un relais-conjoncteur, intercalé dans le circuit de la pile, agit sur une sonnerie dès qu'il est parcouru par un courant d'une intensité déterminée, ce qui arrive lorsque le sélénium est impressionné par les rayons émis par le moule au moment où ce dernier a atteint la température à laquelle il importe d'arrêter la cuisson. (*Lumière électrique*, t. III, année 1881, n° 2.)

Régulateur photo-électrique pour bougies Jablochkoff. — M. D. Tommasi a utilisé les variations de résistance électrique qu'éprouve le sélénium lorsqu'il est frappé par une lumière plus ou moins vive pour construire un régulateur auquel il donne le nom de régulateur photo-électrique.

Il se compose d'une bougie Jablochkoff, aussi longue que l'on veut, encastrée dans un tube cylindrique en fer au fond duquel se trouve un ressort en spirale qui tend à pousser la bougie hors du tube.

Entre ce ressort et la bougie se trouve un petit électro-aimant à fil fin, dont les pôles épanouis ont la forme de demi-cylindres et glissent à frottement doux contre les parois intérieures du tube de fer. En haut de ce dernier, de petites poulies à gorge munies de vis de réglage laissent passer en les entraînant doucement les deux tiges de charbon de la bougie et leur livrent en même temps le courant électrique aucun du générateur par des câbles. On comprend

que si aucun courant électrique ne traverse l'électro-aimant intercalé entre la bougie et le ressort, ce dernier, libre d'agir, poussera la bougie hors du tube; mais que si un courant vient à passer dans cet électro-aimant, le magnétisme produit à ses pôles développera en face d'eux, dans les parois du tube en fer, deux pôles opposés qui, attirant l'électro-aimant, arrêteront le ressort et par suite la marche ascendante de la bougie. Voici comment ce courant est envoyé dans la bobine de l'électro au moment voulu: un collier à vis retient fixé autour du tube qui renferme la bougie un régulateur concave ou plan, suivant les circonstances, qui embrasse toute la partie supérieure éclairée par la bougie; dans la ligne qui passe par le point où doit demeurer fixe l'extrémité incandescente de la bougie est encastrée, dans le réflecteur, une petite lunette munie d'une lentille pour concentrer et diriger la lumière; au bout de cette lunette est enroulé, dans une petite boîte, un régulateur à sélénium composé d'une spirale métallique dont les doubles spires sont réunies par du sélénium. Ce régulateur est rattaché par un circuit électrique à l'électro-aimant dont il a été question plus haut, et tout le système est traversé par un courant dérivé du générateur principal ou fourni par une PILE LOCALE. Enfin, une petite ouverture pratiquée dans la boîte qui contient le sélénium se trouve située dans l'axe optique de la lunette et du point incandescent de la bougie.

Il résulte de cette disposition qu'aussitôt que la bougie monte dans son tube sous l'action du ressort, et que son extrémité incandescente arrive dans la ligne de visée du régulateur à sélénium, la lumière se projetant sur ce dernier augmente sa conductibilité, et le COURANT, ne rencontrant plus la même résistance, peut agir sur l'électro-aimant. Le courant peut être envoyé à l'électro directement ou par l'intermédiaire d'un RELAIS.

Lorsque la bougie s'est consumée, le point lumineux venant à baisser et le sélénium n'étant plus influencé par la lumière, le courant électrique ne passant plus, l'électro cesse d'agir et le ressort pousse de nouveau la bougie hors du tube.

Reis (Philippe), physicien allemand, né à Gelnhausen le 7 janvier 1834, mort le 14 janvier 1874. Tout en occupant un emploi industriel, il étudia les sciences mathématiques et physiques et fut nommé, en 1855, professeur à Friedrichsdorf, près de Hombourg. C'est là qu'il construisit, dès 1860, un téléphone musical, mais ne reproduisant pas les articulations de la voix.

RELAIS. — Appareil pouvant fonctionner sous l'action d'un courant de ligne très faible et servant à fermer le circuit d'une PILE LOCALE dont le courant, aussi énergique que l'on veut, actionne l'appareil récepteur qui ne pourrait obéir directement au courant de ligne.

On peut diviser les relais en plusieurs catégories:

1° *Ceux à électro-aimant et à palette de fer doux.*

2° *Les relais polarisés, c'est-à-dire dont l'armature en fer doux est polarisée préventivement par l'action d'un aimant.*

3° *Les relais galvanométriques, dont l'organe mo-*

bile est une aiguille aimantée influencée par un cuit fixe ou dont l'organe mobile est un circuit qui se déplace dans un CHAMP MAGNÉTIQUE.

4° *Les relais électro-chimiques, reposant sur la propriété qu'acquiert certaines substances d'offrir une résistance de frottement moins grande lorsqu'un courant passe au point de contact du corps frotté du corps frottant.*

5° *Les relais basés sur l'attraction d'un noyau fer doux par un solénoïde.*

6° *Les relais n'utilisant à profit les changements de résistance électrique qu'éprouvent certaines substances, notamment le charbon, lorsqu'on les soumet des pressions plus ou moins fortes.*

1° **Relais à électro-aimant et à palette de fer doux.** — Ces relais sont les p

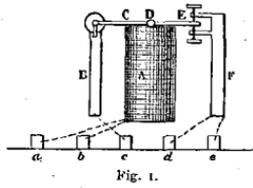


Fig. 1.

miers dont on se soit servi. Ils se composent essentiellement d'un ELECTRO-AIMANT A, dont le fil est re-

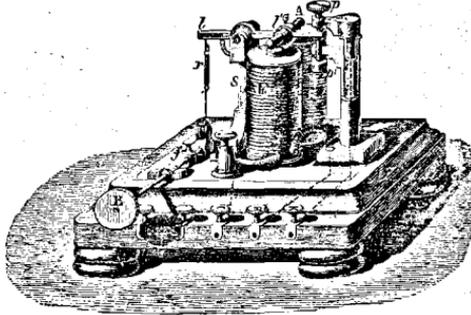


Fig. 2. — Vue perspective d'un Relais Morse.

par ses extrémités aux bornes a, b (fig. 1); contre c l'électro-aimant vient s'appliquer une armature (CD) mobile autour d'un axe supporté par la pièce B. L'extrémité du levier se meut entre deux butoirs fixés sur la colonne F divisée en deux parties isolées qui communiquent avec les bornes d et e; la borne est reliée à la pièce B; on a et b s'attachent les fils du circuit général. A la borne c est attaché le fil aboutissant au récepteur et, de là, à l'un des pôles de la pile locale; à la borne d est relié le second fil de cette pile locale. Lorsque le courant de ligne est alternativement émis et interrompu, l'armature est alternativement attirée et repoussée en sens contraire par un ressort de rappel ou par un contrepoids. I circuit local — Pile, Récepteur, cBCEFD, Pile -

est alternativement ouvert et fermé, et le récepteur subit les mêmes actions que s'il était simplement intercalé dans le circuit de ligne.

La fig. 2 donne la vue perspective d'un relais reposant sur le principe que nous venons d'indiquer et qui est employé généralement en télégraphie pour la TRANSMISSION.

M. Hughes a ajouté à cet instrument un petit curseur dont les mouvements servent à régler l'appareil en donnant plus ou moins de mobilité à l'armature. M. Hipp et M. Callaud ont modifié un ressort qui entrave, au delà de certaines limites, le mouvement de cette armature dans l'appareil ordinaire. M. Callaud a cherché à rendre le réglage automatique en employant des ressorts à tension variable.

Parmi les relais employés en télégraphie, citons celui qui fait partie du système sextuplex imaginé par

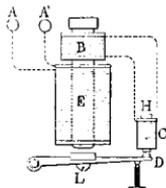


Fig. 3. — Relais de M. Field.

M. Field et fondé sur l'emploi de trois genres de courants, savoir : 1° un courant continu variant d'intensité; 2° un courant alternatif; 3° un courant onduleur. Il s'agissait d'avoir un relais sensible seulement aux variations d'intensité, et restant inactif lorsqu'il est parcouru par des courants alternatifs. Voici comment M. Field y est parvenu : il a prolongé le noyau E d'un relais neutre ordinaire à armature de fer doux L, et il a monté sur ce prolongement une seconde bobine B en communication permanente avec une autre bobine C dont le noyau H, pour armature, un cylindre de fer doux D fixé sur l'extrémité du levier du relais. Chaque inversion de courant a pour résultat de désaimanter momentanément le relais, ce qui ferait vibrer l'armature L si à chaque inversion de courant ne correspondait pas, dans la bobine B, la production d'un courant d'induction qui passe dans la bobine C, aimante le noyau H, et attire le cylindre D au moment précis où l'armature L n'est plus attirée.

Le levier du relais, soumis ainsi à deux influences attractives successives, devient insensible aux courants inversés et n'obéit plus qu'aux courants de même sens, mais variables d'intensité.

M. Field emploie deux autres relais : un relais ordinaire à armature polarisée pour les courants inversés et un relais téléphonique ordinaire pour les courants onduleatoires. (V. TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.)

2° **Relais polarisés.** — Le type des relais polarisés est celui de M. Siemens, qui est représenté fig. 4.

Il se compose d'un électro-aimant A à deux bobines dont les noyaux sont terminés à leur partie supérieure par deux semelles en fer doux S, S' entre lesquelles peut osciller une armature de fer doux B mobile autour d'un axe vertical O fixé à l'extrémité polaire d'un aimant C. Cette armature est polarisée par l'aimant et conserve le prolongement du pôle de ce dernier. Suivant le sens du courant envoyé dans l'électro-aimant, elle est attirée par la semelle S et repoussée

par la semelle S', ou réciproquement; mais elle ne vient pas au contact de ces semelles, car elle est arrêtée dans sa course par des vis butoirs qui servent à fermer le circuit positif ou négatif d'une pile locale. Il est à remarquer que dans ce genre de relais, aus-

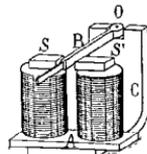


Fig. 4. — Relais polarisé de M. Siemens.

sitôt que le courant cesse, l'armature reste dans la position où elle a été amenée, puisqu'il n'existe aucun ressort de rappel.

Des relais polarisés reposant sur le même principe ont été imaginés par MM. de Lafoleye, Hughes, Varley et Allan.

Dans la catégorie des relais polarisés citons : Le **rapport par inversion de courant**, avec aimant, employé pour rappeler à volonté un poste télégraphique ou téléphonique A ou B reliés par un seul fil à un même poste expéditeur. Mais, tandis que dans le relais Siemens l'armature mobile reste dans la position où un courant de sens quelconque l'a placée, dans le rapport par inversion cette armature est toujours ramenée par un ressort dans une position déterminée et elle n'est attirée par l'électro-aimant que lorsque ce dernier est animé par un courant positif ou négatif.

On a créé aussi des rappels par inversion de courant dont l'armature mobile est polarisée sur un électro-aimant spécial au lieu de l'être par un aimant; tels sont :

Les rappels de MM. Grassi et Beux, de MM. Dumont et Cabaret.

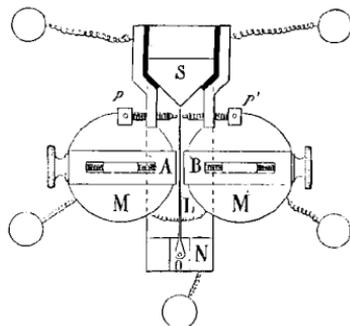


Fig. 5. — Relais polarisé de M. Ducousso.

Le relais polarisé de M. Ducousso, dont l'armature mobile, bien que n'étant sollicitée par aucun ressort, revient toujours à une position médiane aussitôt que les courants qui animent l'électro-aimant ont cessé. La fig. 5, qui donne le plan de cet appareil, per-

met d'en comprendre le principe. M, M sont les bobines d'un électro-aimant dont les pôles A et B peuvent s'approcher ou s'éloigner à volonté d'une lame L polarisée par l'extrémité d'un aimant N S. L'autre extrémité de cet aimant se termine en couteau; la pointe de ce couteau arrive à une très faible distance de l'extrémité de la lame L. Cette dernière est mobile autour d'un axe vertical O et peut, par conséquent, venir au contact des butoirs p et p' suivant le sens du courant envoyé dans l'électro-aimant. L'aimant N S est relié à une pile locale et les butoirs p et p' à des appareils quelconques qu'il s'agit d'actionner dans des cas spéciaux. On remarque que dans ce relais il n'est fait usage d'aucun ressort antagoniste pour ramener à la position de repos ou d'attente la lame ou armature L. En effet, si un courant d'un certain sens passe dans l'électro-aimant, cette lame viendra, par exemple, au contact du butoir p'; mais dès que le courant cesse, la lame L reprend sa première position sous l'influence du pôle S de l'aimant; si le courant envoyé dans l'électro est d'un autre sens, la lame viendra au contact du butoir p, mais elle sera toujours rappelée par le pôle S de l'aimant dès que ce courant cessera. Ce relais est très sensible et peut rendre de grands services.

Dans la même catégorie de relais polarisés se placent ceux de M. Tommasi et de M. Marcellac pour lignes sous-marines. En voici une description succincte :

Le relais de M. Tommasi, qui a figuré à l'Expo-

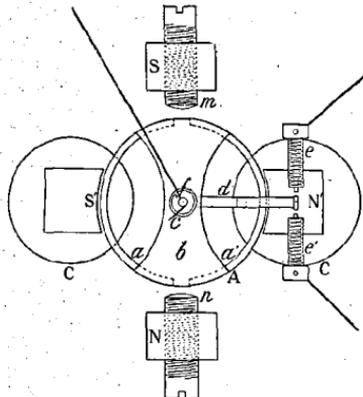


Fig. 6. (Plan.)

de sorte que l'ensemble constitue sensiblement un cercle; S et N représentent les pôles d'un aimant permanent, muni de vis de réglage m et n, dont les extrémités sont rapprochées des armatures a a', mais en laissant une distance suffisante pour que celles-ci puissent pivoter librement sur leur axe f placé à égale distance des deux pôles S et N. Avec cette disposition, les sections d'armatures a et a' se trouvent constamment aimantées par les pôles de l'aimant permanent et occupent une certaine position normale relativement à l'axe magnétique de cet aimant, S' et N' sont les pôles d'un électro-aimant dont les surfaces voi-

sition d'Électricité de Paris, en 1881, est d'un grand sensibilité. Il se compose d'un électro-aimant dont le noyau est formé d'un rectangle vertical en fer doux; l'un des grands côtés de ce rectangle, le supérieur, présente à son milieu un espace vide dans lequel se meut une armature polarisée par un aimant fixe. Quatre bobines faisant partie du circuit de ligne sont placées sur ce noyau, deux sur la branche supérieure, deux sur la branche inférieure. Un doigt fixé sur le même axe que l'armature oscille entre deux butoirs et donne des contacts; son axe de suspension porte un petit aimant en forme de croissant disposé à la partie supérieure perpendiculairement à l'armature, qu'il ramène à sa position normale quand le courant est interrompu.

Le relais de M. Marcellac, pour lignes souter- raines et câbles sous-marins, consiste en principe en une bobine extrêmement légère placée dans un champ magnétique intense. Cette bobine, suivant le sens du courant qui la traverse, se déplace à droite et à gauche de sa position à l'état de repos, et fait mouvoir une lame métallique qui lui est solidaire; cette lame ferme le circuit d'une pile locale sur le récepteur. Ce relais très sensible a été exposé à Paris en 1881 et à Vienne en 1883. Il occupe comme surface à peu près le même espace qu'un RAPPEL par inversion de courant.

Nous citerons encore le relais de M. Ebel, destiné à produire les caractères de l'alphabet Morse à grande vitesse à l'aide des courants employés pour les câbles sous-marins. Les dispositions essentielles de l'appareil sont représentées par les fig. 6, 7, 8 et 9. — a, a' sont des armatures semi-circulaires en fer reliées par une pièce b de substance non magnétique;

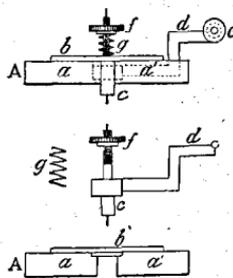


Fig. 7, 8 et 9.

sines de a et a' sont à une distance suffisante pour permettre à ces armatures de pivoter librement. Cet électro-aimant est actionné au passage du courant et a pour but d'agir par influence sur le POTENTIEL MAGNÉTIQUE des sections a, a', qui, suivant leur polarité, pivotent ensuite dans un sens ou dans l'autre. d est un bras fixé à l'axe c dont il est solidaire, et destiné à agir en qualité de pièce de contact et d'interrompateur; e et d sont des arrêts-contacts mobiles qui servent à régler le jeu du bras d. Les armatures a et a' sont reliées au bras d au moyen d'un raccord flexible, de sorte qu'elles peuvent se déplacer

indépendamment de ce bras quand il se trouve en contact avec l'un des deux arrêts *e* ou *e'*. Cette liaison flexible est disposée de manière à pouvoir être

réglée au moyen du frottement produit par le ressort *g* et l'écrou de serrage *f* (fig. 7, 8 et 9).

L'avantage de ce relais consiste dans sa grande

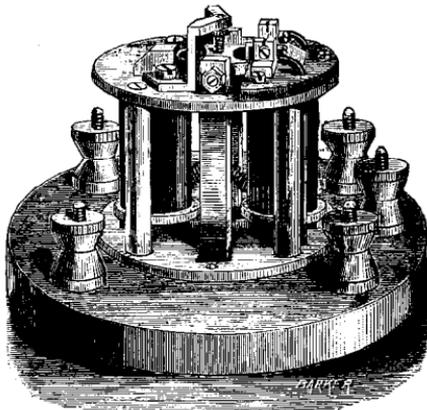


Fig. 10. — Relais de M. Ebel pour télégraphe sous-marin.

simplicité, grâce à laquelle on peut le régler. La fig. 10 représente ce relais dans sa forme générale.

3° Relais galvanométriques. — Comme exemples de ce genre d'appareils nous citerons les relais construits par M. Varley, M. Charles Bright, M. Bain. Mais ces relais donnant des contacts insuffisants, par suite de la faiblesse de l'action mécanique, ont été abandonnés. En effet, ils mettaient à profit l'action exercée par un courant sur une AIGUILLE AIMANTÉE dont la masse et le magnétisme sont nécessairement peu considérables, de sorte que quelle que fût la force du courant cette aiguille ne pouvait exercer qu'une poussée très faible. Si, au contraire, on rend mobile le circuit dans un champ magnétique très intense, on obtient des résultats tout autres. C'est en mettant à profit cette observation que sir W. Thomson a construit son système RECORDER-et que M. Claude a imaginé son relais, qui fait partie intégrante de son système de *rapport général*.

Voici la description de ce relais, qui est fort sensible et très énergique.

Il se compose essentiellement de deux rappels par inversion qui fonctionnent chacun sous l'action d'un courant de sens déterminé (fig. 11). Ce relais n'a pas, comme les relais polarisés (système Siemens, rappels par inversion avec aimant, etc.), de MAGNÉTISME DÉMAGNÉTISANT, et son RANGE est fort élevé. Ainsi le relais Claude peut fonctionner régulièrement sans réglage spécial avec des courants de 0,001 ou de 0,500 ampère : son range est ainsi de 0,500 : 0,001 = 500. (Les meilleurs relais Siemens n'ont qu'un range égal à 16.)

Le relais Claude comprend un aimant en fer à cheval placé verticalement et entre les branches duquel se trouve une petite bobine circulaire, elliptique ou rectangulaire, montée sur un axe en acier qui pivote à sa partie inférieure sur une pierre

dure et à sa partie supérieure dans une équerre en cuivre. Dans l'intérieur de cette bobine se trouve une masse de fer doux de même forme qu'elle, mais de dimensions moindres afin de ne pas gêner son mou-

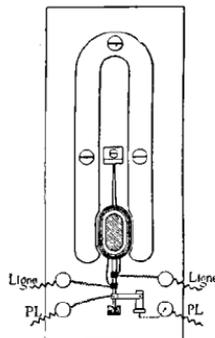


Fig. 11. — Relais de M. Claude

vement; cette masse de fer, qui est fixé à demeure sur les branches de l'aimant par une traverse en cuivre, est destinée à renforcer le champ magnétique dans lequel se moue la bobine. Sur la partie inférieure de l'axe de cette dernière se trouvent : 1° deux petits cylindres en ébonite formant supports isolants

pour les extrémités du fil de la bobine qui aboutissent aux deux bornes du ligne, à l'aide de deux petits boudins très légers; 2° une lame métallique perpendiculaire à l'axe et terminée à sa partie libre par un bouton d'ébonite sur laquelle est monté un boudin d'argent; ce bouton est relié à une borne correspondant à l'un des pôles de la pile locale, et lorsque la bobine se déplace sous l'action du courant de ligne qui la traverse, il vient buter contre un contact en argent monté sur une deuxième borne reliée au deuxième pôle de la pile locale; 3° d'un ressort en spirale analogue à celui des montres, et qui sert à ramener l'axe dans sa position normale dès que le courant de ligne cesse de passer dans la bobine.

M. Claude applique à son rappel général deux relais conjugués semblables à celui que nous venons de décrire, chacun d'eux fonctionnant sous l'action d'un courant de sens déterminé; ces deux appareils sont contenus dans la même boîte.

4° Relais électro-chimiques. — Nous ne connaissons qu'un seul exemple de relais basé sur la propriété qu'acquiert certaines substances naturellement rugueuses de devenir polies et glissantes sous l'action combinée du passage du courant et de l'effet chimique développé; c'est le relais imaginé par M. Edison et appelé par lui **ÉLECTRO-MOTOGRAPHIE**. Son fonctionnement repose sur l'observation suivante.

Si l'on promène un style métallique sur une surface enduite de certaines substances humides, telles que l'hydrate de potasse, le frottement, assez fort à l'état ordinaire, cesse à peu près complètement lorsqu'un courant traverse le point de contact, parce qu'alors il se produit un dégagement de gaz dû à la décomposition électro-chimique de la substance.

L'électro-motographie se compose donc d'un cylindre de chaux comprimée, enduit d'hydrate de potasse et d'acétate de mercure. Ce cylindre est animé d'un mouvement de rotation régulier; une pointe métallique est pressée contre le cylindre par une pièce de caoutchouc et est reliée d'autre part à une tige verticale oscillant entre deux butoirs. Quand le courant de ligne passe du cylindre de chaux à la pointe métallique, le frottement est à peu près nul, et la tige sur laquelle agit un faible ressort de rappel vient au contact avec l'un des butoirs et ferme le circuit local; lorsque, au contraire, le courant ne passe pas, l'adhérence entre la pointe et le cylindre a une force suffisante pour ramener la tige contre l'autre butoir.

5° Relais fonctionnant par l'attraction d'un noyau de fer doux par un

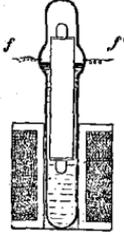


Fig. 11.

solénoïde. — Nous citerons comme exemple le relais imaginé par M. W. Lahmayer, d'Aix-la-

Chapelle. L'instrument (fig. 12) se compose essentiellement d'un tube de verre, fermé à ses deux extrémités, contenant du mercure et un cylindre de fer flottant dans ce dernier. Deux fils de platine *f* et *f'* traversent le tube qui forme le noyau d'un bobine. Lorsqu'un courant passe dans cette bobine, le cylindre de fer est attiré vers le bas, le mercure s'écarte et les deux fils *f* et *f'*, étant ainsi reliés métalliquement, ferment un circuit local. Le tube est rempli d'azote afin d'empêcher le mercure de s'oxyder par l'étincelle qui jaillit au moment où le contact s'établit avec les fils de platine.

6° Relais fonctionnant sous l'action des différences de résistance.

Les relais de cette catégorie sont basés sur les variations de résistance résultant de la compression plus ou moins forte à laquelle on soumet certaines substances, notamment la poudre de charbon. Ils ont pour type le relais construit par M. Edison et qui se compose d'un électro-aimant séparé de son armature par une couche de charbon traversée par un courant local. Quand l'armature est attirée, la couche de charbon est comprimée et l'intensité du courant local varie (c'est sur ce phénomène que repose le fonctionnement du microphone). Les variations d'intensité du courant local sont utilisées pour actionner un récepteur.

RELEVER un dérangement. — Expression souvent employée en télégraphie pour désigner l'opération ou l'ensemble d'opérations à effectuer pour supprimer la cause qui produit le **DÉRANGEMENT**.

REMANENT (Magnétisme). — Magnétisme conservé par le ou les noyaux d'un **ÉLECTRO-AIMANT** après que le courant qui a circulé dans les bobines et qui produisait l'aimantation de ces noyaux a été interrompu. Le magnétisme **remanent** ou **résiduel** est d'autant plus grand que le fer est moins doux. (V. **MAGNÉTISME** **REMANENT**.)

Reznek (Robert), médecin allemand, né à Posen le 20 juillet 1826, mort à Hisingen le 29 août 1865. Après s'être adonné, sous la direction de Jean Muller et de Schenlein, à des études microscopiques et d'embryologie, il obtint, grâce Israélite, l'autorisation d'ouvrir un cours libre à l'université de Berlin; en 1839 il devint professeur extraordinaire. Il a beaucoup contribué aux progrès de la science par ses recherches sur la constitution intime des nerfs et l'embryologie des vertébrés; de plus, il a le premier utilisé le **COURANT ÉLECTRIQUE** dans le traitement des maladies nerveuses. A la suite de la découverte, par Duchenne de Boulogne, des points d'excitabilité des muscles, il reconnut que ceux-ci ne sont autres que les points où les nerfs moteurs pénètrent dans les masses musculaires et qu'il était plus avantageux d'exciter le nerf lui-même que le muscle. Parmi ses travaux, nous citerons : *Sur un système nerveux intestinal indépendant* (Berlin, 1847); *Recherches sur le développement des vertébrés* (2 parties, Berlin, 1851 et 1855); *Sur l'électrisation méthodique des muscles paralysés* (1856); *Thérapeutique galvanique dans les maladies nerveuses et musculaires*.

REMISE A L'HEURE par l'électricité. — On désigne ainsi l'opération qui consiste à se servir d'une horloge très régulière pour envoyer un courant électrique dont l'action met de'autres horloges en concordance avec la première.

On peut employer pour cela plusieurs moyens; le

plus simple, qui permet de ne pas toucher au rouage des appareils existants, c'est de synchroniser les pendules au moyen d'un ÉLECTRO-AMANT traversé par un courant temporaire pendant la durée de l'arc supplémentaire et attirant une palette de fer doux placée au bas du pendule même. Malheureusement, cette solution exige un circuit spécial et ne peut s'adapter qu'à des horloges dont les pendules aient la même longueur; elle ne permet d'ailleurs de corriger que des différences peu sensibles, vingt secondes au plus par jour.

Pour parvenir plus simplement encore à un résultat analogue, on se contente d'envoyer à certains intervalles de temps, toutes les heures, toutes les six heures ou même toutes les vingt-quatre heures, un courant d'une durée de quelques secondes dans toutes les horloges que l'on veut faire concorder.

Les seuls systèmes de ce genre, auxquels on donne le nom de **remise à l'heure électrique**, essayés avec succès depuis quelques années, consistent à déplacer ou à arrêter la roue d'échappement de telle sorte que le balancier continue à osciller librement indépendamment du rouage.

Ce système, imaginé et appliqué dès 1865 par M. Collin, à l'avantage de conserver à toutes les horloges leur existence propre, de façon qu'en cas de défaut de transmission électrique faisant manquer le réglage, elle puissent néanmoins continuer à donner l'heure, à sonner, à rendre un mot les services que le public attend d'elles, jusqu'à ce que le réglage se rétablisse et corrige les erreurs qui se sont accumulées.

Ce système interrompt fonctionne à Paris et à Roubaix, notamment dans divers établissements publics, et y a donné toute satisfaction. On a objecté qu'il ne peut servir qu'à corriger l'avance et non le retard de l'horloge à régler; mais M. Collin fait remarquer avec raison que cette objection est sans valeur, surtout en ce qui regarde les horloges publiques, les grosses horloges. En effet, l'état normal d'une horloge est d'avoir toujours une tendance à l'avance; or, cette tendance suffit pour assurer le réglage. Quand l'horloge est propre, quand elle a des huiles fraîches, son moteur transmet beaucoup de force à la roue d'échappement, alors les arcs du pendule sont amples. Si, dans cet état, elle est réglée au plus près, au bout d'un temps plus ou moins court les huiles s'alèrent et s'épaississent, les frottements s'accroissent, la force transmise diminue, les arcs du pendule perdent de leur amplitude, les oscillations s'accomplissent en moins de temps et l'horloge avance. On pourrait supposer, dit M. Collin, que ce mode de réglage est susceptible d'être entravé par des retards provenant de la dilatation des verges de fer des pendules des horloges, mais en pratique il n'en est rien. L'effet, lebrécet, de l'allongement et du raccourcissement des pendules par les variations de température ne s'aperçoit que sur les pièces de précision. Les modifications des huiles sont la cause la plus grave des variations des pièces d'horlogerie; l'avance normale d'une horloge en dépend. L'action de la température sur la lige de fer d'un pendule n'entre que pour une très faible part dans les variations, pourtant très notables, que l'on constate. Prenons un pendule de 1 mètre avec une lige de fer; cette verge de fer pour 100° s'allongerait ou se raccourcirait de 0,00123; pour 10°, de 0,000123, ce qui donnerait cinq secondes environ de variation dans les vingt-quatre heures. Il est clair que, théoriquement, toutes les horloges ou pièces d'appareil dont les pendules sont en fer, quelle que soit la longueur de ces pendules, devraient, si elles étaient soumises aux mêmes températures, varier de la même quantité de

secondes dans les vingt-quatre heures. On sait, en effet que, lorsqu'on considère deux balanciers de longueur L et L', on a, entre la durée des oscillations, le rapport :

$$\frac{T^1}{T^2} = \frac{L}{L'} \text{ et } \frac{T}{T'} = \sqrt{\frac{L}{L'}}$$

Ce rapport entre les durées des oscillations de deux pendules reste donc constant quand celui de la longueur des lices est constant, c'est-à-dire que si à l'origine des variations de la température n oscillations de L équivalent à p oscillations de L', à q oscillations de L', etc.; comme on a :

$$nT_1 = pT_1' = qT_1'' \text{ et } \frac{nT_1}{nT_1'} = \frac{pT_1'}{pT_1''} = \frac{qT_1''}{qT_1''}$$

il en résultera que nous pourrions écrire :

$$nT = pT' = qT''$$

et toutes les horloges marqueront encore la même heure. De plus, en chiffres ronds, le nombre de secondes sera la moitié du nombre de degrés de variation de température, de sorte que s'il y a, par exemple, 60 de variation, les pièces d'horlogerie auront varié de trois secondes; pour 80, de quatre secondes; soit une seconde par 20. On peut donc affirmer qu'en horlogerie ordinaire on doit négiger de s'occuper de l'influence de la température.

Nous décrirons plusieurs systèmes de remise à l'heure par l'avance, savoir le système Collin, le système Bréguet, employé pour la remise à l'heure électrique des horloges de la ville de Paris, le système de MM. Lepaute et Tresca et enfin le système de M. Feron.

Système Collin. — Le système de remise à l'heure électrique imaginé par M. Collin et appliqué par lui sur plusieurs horloges de la ville de Paris et d'autres pays, notamment à Roubaix, consiste à relier les horloges à régler et l'horloge régulatrice ou horloge type par un même circuit. Les horloges à régler (fig. 1) ont quelques secondes d'avance sur l'horloge type (fig. 2). Ces horloges possèdent toutes un COMMUTATEUR formé de deux pièces qui ferment le circuit lorsqu'elles se touchent et l'interrompent lorsqu'elles se séparent.

Dans l'horloge type, les deux pièces du commutateur ne sont mises en contact que quelques minutes avant l'heure du réglage et se séparent lorsque l'aiguille des minutes est à midi juste.

Dans les horloges à régler, l'effet est inverse : les leviers ne ferment le circuit que lorsque ces horloges arrivent à l'heure du réglage, qui doit être quelques secondes en avance sur l'horloge type. A la partie supérieure des horloges à régler (fig. 1) se trouve un électro-aimant qui, lorsqu'il est traversé par le courant électrique, attire un levier dont l'extrémité inférieure est armée d'une goupille qui s'engage sur un cercle denté placé extérieurement à la roue d'échappement et l'arrête. Ceci posé, le fonctionnement du système est facile à comprendre : lorsque l'horloge type marquera l'heure fixe pour le réglage, les deux pièces de son commutateur se réuniront. Lorsque les horloges à régler arriveront à l'heure juste, leurs commutateurs fonctionneront, et le circuit de la pile étant alors complètement fermé, les électro-aimants seront aimantés et attireront les leviers dont les extrémités s'engageront dans les rochets des roues d'échappement, ce qui les arrêtera; mais leurs balanciers n'en continueront

pas moins leurs oscillations. Comme toutes les horloges à régler ont des différences plus ou moins grandes, elles s'arrêteront successivement et resteront

les unes après les autres au repos, jusqu'au moment où l'horloge type arrivera à l'heure exacte. A ce moment son commutateur rompra le circuit et alors

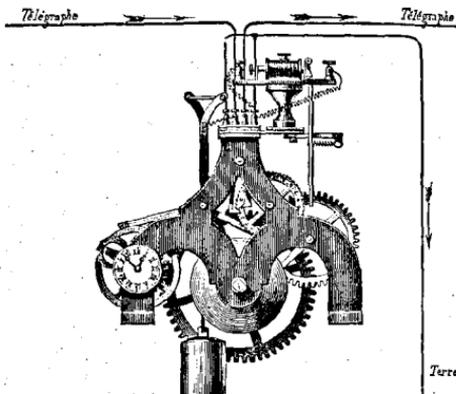


Fig. 1.

instantanément, toutes les roues d'échappement redeviendront libres. Les horloges à régler reprendront

leur marche toutes ensemble et donneront l'heure exacte de l'horloge type. Dans ce système, l'électricité

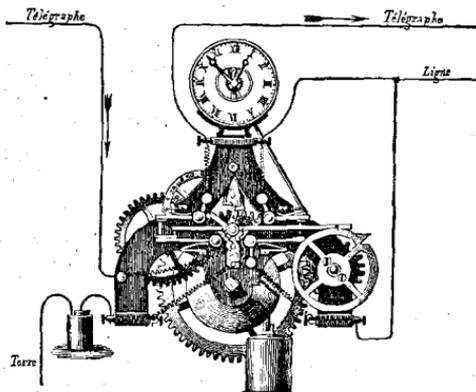


Fig. 2.

n'agit que comme régulateur, on peut donc se contenter d'un courant très faible.

Système Bréguet. — L'unification de l'heure a fait à Paris l'objet d'un concours; le programme était ainsi formulé: « Construire un régulateur ordinaire n'ayant d'autre travail à effectuer que de faire mouvoir ses aiguilles et d'entretenir la marche de son pendule. La variation de la marche diurne moyenne résultant d'observations quotidiennes pen-

dant un intervalle de huit jours ne devant pas dépasser 0",3, et les écarts accidentels de la moyenne ne devant pas dépasser 0",5 pour une variation lente et progressive de la température s'élevant de 0° à 30°. L'horloge devra pouvoir produire à chaque seconde l'interruption d'un circuit électrique. Elle sera munie, à cet effet, du mécanisme nécessaire pour effectuer la séparation, pendant un intervalle de temps compris entre 0",1 et 0",3, de deux pièces de contact isolées métalliquement du reste de l'appareil et mises

en communication métallique avec deux boutons extérieurs à la boîte. »

Pour résoudre le problème ainsi posé, on a établi dans Paris un certain nombre d'horloges consistant des *centres horaires* que l'on a reliés à un régulateur placé à l'Observatoire. Ce régulateur est une horloge de précision, muni du dispositif suivant, qui permet de modifier sa marche sans l'arrêter. On a fixé à la tige du pendule une petite boîte contenant des poids dont on fait varier le nombre suivant que l'appareil avance ou retarde; cette opération se fait chaque jour d'après les indications fournies par la comparaison avec les observations astronomiques.

L'horloge type envoie chaque seconde aux centres horaires un courant régulateur; à cet effet la partie supérieure de la tige de suspension T du pendule porte de chaque côté un bras métallique B à l'extrémité duquel est une traverse horizontale C sur laquelle sont fixés trois points de platine p, p, p (fig. 3)

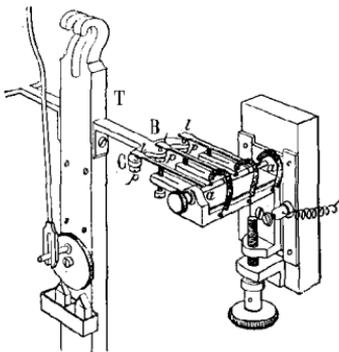


Fig. 3.

à égales distances. Au niveau de ce bras un support fixe porte un axe métallique aa autour duquel peuvent tourner séparément trois petites lames l, l, l qui, au repos, s'appuient sur des vis de réglage. Lorsque le pendule oscille, les pointes de la traverse soulèvent les lames l, l, l et établissent ainsi un contact qui ferme le circuit pendant un temps très court. En mettant trois lames au lieu d'une seule, on a eu pour but de parer aux causes accidentelles qui pourraient empêcher le contact de se produire, et de permettre aussi d'effectuer le nettoyage de ces organes sans interrompre la marche du système.

Quant aux horloges réceptrices ou centres horaires, ce sont simplement des horloges bien construites, par conséquent ayant une marche régulière, mais réglées de façon à avoir une tendance à avancer. Le balancier de chacune de ces horloges porte à sa partie inférieure une masse de fer doux qui passe au-dessous de deux électro-aimants doubles placés symétriquement de part et d'autre de la verticale du point de suspension et qui sont dans le même circuit que l'horloge régulatrice. Il en résulte qu'un courant passe dans ces électros à chaque oscillation du balancier de cette horloge. Les électros agissent donc sur la masse de fer doux du balancier des horloges à régler et exercent sur lui une action retardatrice qui ramène la

durée de l'oscillation à être la même que celle du pendule de l'horloge de l'Observatoire.

On a admis que les horloges des centres horaires seraient réglées avec une avance de vingt secondes par jour; elles doivent marcher seules, de manière à ne pas présenter une différence de plus de deux secondes par jour, pour donner l'heure avec une exactitude suffisante dans le cas où, pour une cause quelconque, le système électrique viendrait à faire défaut.

Il existe à Paris quinze centres horaires répartis sur deux circuits métalliques complets aboutissant l'un et l'autre à l'Observatoire et dont les fils passent dans les égouts.

Système de MM. Lepaute. — Le système de remise à l'heure de MM. Lepaute (arrêté par la fourchette), permet de ne pas toucher au rouge; il exige seulement que le bouton de la fourchette

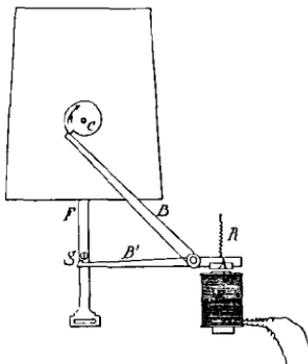


Fig. 4.

agisse sur le côté de la tige du pendule (fourchette Duchemin) au lieu de passer dans la fente pratiquée à travers cette tige.

Voici une description sommaire de ce système. L'appareil de réglage représenté fig. 4 se compose essentiellement d'un levier de cuivre, muni d'un bec mobile g, monté sur un axe tournant sur pointes.

Ce levier est destiné à arrêter la fourchette F lorsque le courant envoyé par l'horloge type passe dans l'électro-aimant E; un autre levier, muni d'une palette de fer doux A, soulève le levier B; mais afin que l'arrêt de la fourchette et par suite du rouge n'ait lieu que si l'horloge à régler se trouve en avance, un troisième levier B, s'appuyant sur un limaçon C monté sur la roue de minutes, empêche l'armature de s'approcher des noyaux de l'électro-aimant tant que le moment auquel doit s'établir la coïncidence n'est pas arrivé.

Supposons que pendant trente secondes, depuis l'heure cinquante-neuf minutes trente secondes jusqu'à l'heure juste, l'horloge type envoie un courant continu dans l'électro E; si l'horloge à régler n'avance pas, l'entaille du limaçon C n'étant pas encore arrivée au point où le troisième levier B échappe, aucun effet ne se produit; si au contraire il existe une avance de trente secondes au plus, le levier B a pén-

tré dans l'entaille du limaçon C lorsque le courant commence à passer et le levier B' arrête la fourchette F puisque l'armature a' est approchée de l'électro E. (Si l'avance à corriger dépassait trente secondes, la correction se ferait en plusieurs fois à raison de trente secondes par heure.) Enfin si l'horloge à régler avance de moins de trente secondes, quinze par exemple, le levier B, ne pouvant pénétrer dans l'entaille du limaçon C que quinze secondes après que la polarisation de l'électro-aimant aura commencé, l'arrêt du rouage ne durera que quinze secondes, et ainsi de suite.

Ce système offre, comme nous l'avons dit, l'avantage de s'adapter, sans altérer en rien les mécanismes existants, à tous les organes d'échappement d'horloges ou de pendules en usage, particulièrement aux grandes horloges et aux régulateurs employés par les chemins de fer. La force électrique nécessaire est très faible. Il est appliqué dans les grandes gares de Paris pour synchroniser les indications des horloges disséminées sur plusieurs points de ces gares.

Système Fenon. — M. Fenon a imaginé enfin un système de remise à l'heure électrique très ingénieux, mais qui nécessite le déplacement de la roue d'échappement. Ce système n'est applicable qu'à l'échappement à chevilles; il exige une force électrique assez considérable, une exécution très soignée et la transformation du mobile de l'échappement de l'horloge. L'arrêt direct de la roue d'échappement demande moins de précision, mais entraîne aussi la modification du mobile de l'échappement.

Application du système de remise à l'heure de MM Lepaute pour la synchronisation des

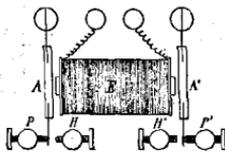


Fig. 5.

horloges des gares de chemins de fer. — Le système de MM. Lepaute, étant relativement simple, peut être appliqué pour la remise à l'heure des différentes gares d'un réseau de chemins de fer, et pour la création de centres horaires en se servant des fils télégraphiques. Cet emprunt des fils ne doit causer aucune gêne au service des dépêches, puisque sa durée est très courte (5 minutes toutes les 12 heures).

Toutefois, cette application n'était pas sans entraîner quelques complications dans les organes.

Voici comment le problème a été résolu à la Compagnie des chemins de fer l'Est, par MM. G. Dumont et Lepaute :

Il s'agissait tout d'abord de réaliser l'isolement des appareils télégraphiques et la mise en communication des horloges avec la ligne pendant 5 minutes toutes les 12 heures; on ne pouvait songer à faire manœuvrer un commutateur par les agents des gares, qui auraient le plus souvent oublié cette manœuvre, et c'est aux horloges elles-mêmes qu'on a demandé cette commutation automatique.

Chaque horloge est munie d'un commutateur, représenté fig. 5 et consistant, par exemple, en un électro-aimant droit E pouvant agir sur deux armatures A et A' reliées aux fils de ligne; en temps

normal (c'est-à-dire lorsque aucun courant ne traverse l'électro E), les armatures sont au contact de deux butoirs P et P' reliés au poste télégraphique dans ces conditions les courants cheminant dans le fils de la ligne sont dirigés sur le poste télégraphique et l'échange des dépêches peut s'effectuer; mais si un organe spécial, mû par l'horloge et dont il sera question plus loin, vient à fermer le circuit d'une pile LOCALE sur l'électro E, les deux armatures A et A' seront attirées, quitteront les butoirs P et P' et viendront au contact des butoirs H et H' qui sont en communication avec l'organe de remise à l'heure le poste télégraphique se trouvera alors isolé de lignes qui seront affectées au service de l'horloge pendant tout le temps que les armatures A et A' seront en contact de H et H', c'est-à-dire tant que le courant de la pile locale circulera dans l'électro E.

Le circuit de la pile locale est fermé sur l'électro-aimant E par l'intermédiaire d'un levier venant au contact d'un ressort; ce levier est actionné par un système de limaçons montés sur la roue du cadran et sur la chaussée du mouvement de l'horloge; le contact produit dure 5 minutes, c'est-à-dire 3 minutes avant 12 heures et 2 minutes après 12 heures.

L'horloge de distribution est placée à Paris; elle doit avoir une marche parfaitement régulière; elle est munie des organes représentés fig. 6. La roue R fait un tour en une heure; la goupille g agit donc toutes les heures sur les leviers a et b destinés à fermer le circuit de la pile P sur la ligne télégraphique; mais, ainsi que l'examen de la figure le montre, ce circuit ne pourra être complété qu'autant que l'armature A du commutateur E sera venue au contact du butoir h. Or, l'attraction de cette armature A par l'électro E ne peut avoir lieu que toutes les 12 heures, parce que le circuit de la pile P' ne peut être fermé que par l'intermédiaire du levier c et du ressort r' et que les leviers c et d sont commandés par le limaçon porté sur la roue S, laquelle fait un tour en 12 heures.

Ainsi les leviers c et d ont pour fonction de fermer et d'ouvrir le circuit de la pile P' sur l'électro E, c'est-à-dire de mettre pendant 5 minutes la ligne télégraphique en communication avec l'horloge de façon à permettre à cette dernière d'envoyer par l'intermédiaire des leviers a et b un courant qui, parcourant la ligne, traversera les organes électriques des horloges placées sur différents points du réseau. On verra plus loin comment ce courant, qui dure 30 secondes, agit pour remettre ces horloges à la même heure que l'horloge régulatrice placée à Paris.

L'ensemble des deux leviers a b et d'un ressort r constitue le contact ou commutateur système Madefine; ce commutateur permet de fermer et d'ouvrir un circuit à un moment déterminé et pendant une durée très précise. Son fonctionnement est le suivant: la goupille g (fig. 6) commence par soulever les deux leviers, dont les bras ont une longueur un peu différente; la roue R et par suite la goupille g continuent leur mouvement, le levier b, dont le bras est le plus court, échappe le premier et vient tomber sur le butoir B en se mettant au contact du ressort r; 30 secondes après, le levier a échappe à son tour, et, comme son extrémité est garnie d'une matière isolante i et que sa longueur est un peu plus grande que celle du levier b, en tombant il écarte le ressort r du levier b et interrompt le courant; après un tour complet de la roue R, le même effet se reproduit: les deux leviers sont soulevés par la goupille g et retombent l'un après l'autre à 30 secondes d'intervalle.

Le fonctionnement du commutateur dépendant de

la roue S est absolument le même; mais les leviers sont remontés et lâchés par un limaçon au lieu d'être mus par une goupille.

L'horloge distributrice, quoiqu'elle ait une marche très régulière, a été, pour plus de sûreté, reliée électriquement à la grande horloge de la gare de Paris; elle est donc elle-même remise à l'heure de la même façon que les horloges du réseau, qu'elle commande à son tour. La seule différence consiste en ce que

l'horloge distributrice est régularisée toutes les heures, tandis que, comme il a été expliqué plus haut, les horloges du réseau ne le sont que toutes les 12 heures.

Les horloges du réseau ou réceptrices qui constituent les centres horaires comportent le commutateur décrit plus haut et représenté fig. 5. Ce commutateur est actionné par une pile locale de la même façon que celui de l'horloge distributrice. Quant au système

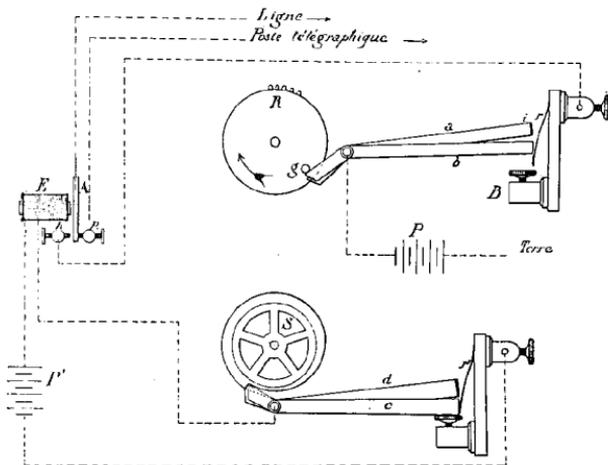


Fig. 6.

de remise à l'heure, il a été décrit en détail; nous rappelons qu'il consiste à arrêter la roue d'échappement de telle sorte que le balancier continue à osciller librement indépendamment du rouage. L'horloge doit être réglée de manière à ne jamais retarder; on s'arrange donc pour lui donner plutôt une tendance à l'avance. C'est à 41 heures 59 minutes 30 secondes que l'horloge distributrice envoie un courant d'une durée de 30 secondes qui, par conséquent, cesse à 12 heures. Les dispositions prises ne permettent de corriger qu'une avance de 30 secondes toutes les 12 heures, c'est-à-dire une minute par jour; mais cette limite est plus que suffisante, car les horloges qui varieraient davantage sont considérées comme ayant une marche irrégulière.

Puisqu'on emprunte la ligne télégraphique, il faut avant tout que, dans le cas d'arrêt ou de dérangement de l'horloge les communications ne soient pas interrompues.

On n'a donc pas relié directement les lignes aux armatures A et A' (fig. 5); cette relation est établie par l'intermédiaire d'un commutateur représenté fig. 7, et qui consiste essentiellement en une roue R en matière isolante, portant sur sa circonférence des lames métalliques destinées à établir des communications entre les divers frotteurs qui appuient dessus. En temps normal, les lignes se trouvent en communication avec le poste télégraphique par l'intermédiaire

du commutateur (fig. 5); mais si, au moyen d'une manivelle, on fait faire un huitième de tour à la roue R (fig. 7), les lignes se trouvent mises en relation

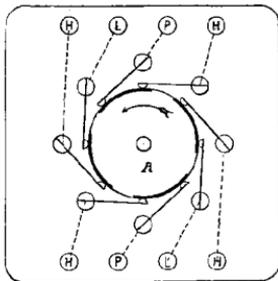


Fig. 7.

directe avec le poste télégraphique et le commutateur (fig. 5) est isolé du circuit. Comme cet appareil (fig. 7) ne doit servir qu'en cas d'arrêt ou d'avarie

aux horloges, la manivelle est maintenue par un scellé, qu'on brise en cas de besoin.

L'emploi de PARATONNERRES est nécessaire pour préserver de la foudre les appareils télégraphiques et les organes électriques des horloges. Le système qui paraît le plus convenable, dans le cas actuel, est celui de Bertsch.

La fig. 8 donne le schéma général des communications électriques nécessaires pour la réalisation du système de remise à l'heure par l'électricité en employant les fils télégraphiques.

Emploi des lignes téléphoniques pour la remise à l'heure électrique.

Les STATIONS TÉLÉPHONIQUES sont quelquefois combinées pour recevoir des indications exactes du temps, soit qu'à un moment donné un signal spécial arrive, soit qu'une pendule de l'abonné soit automatiquement remise à l'heure. M. Rothen décrit ainsi, dans le *Journal télégraphique de Berne*, le système du professeur Barret. « A la station centrale est placée une horloge normale, réglée d'après les indications d'un observatoire astronomique. Cette horloge combine le circuit de l'abonné avec une pile chaque fois que l'aiguille des minutes atteint le chiffre XII. A la station de l'abonné, une pendule quelconque est disposée pour recevoir le signal de toutes les heures arrivant de l'horloge normale. Cette pendule doit avancer de quelques secondes par heure sur le vrai temps; elle change aussi le circuit téléphonique quand l'aiguille des minutes atteint le chiffre XII et intercale à la place du RÉTÉLÉPHONE un électro-aimant dont l'armature peut agir sur l'aiguille des minutes. En conséquence de la petite avance, la pendule de l'abonné a donc déjà ouvert le circuit de l'électro-aimant correcteur avant que l'aiguille de l'horloge normale ait complètement atteint le chiffre XII. Le courant passe aussitôt par l'électro-aimant de l'abonné et l'armature arrête l'aiguille des minutes sur XII. Au moment où l'aiguille de l'horloge normale est parfaitement verticale, le contact est rétabli avec le téléphone, l'armature chez l'abonné

retombe dans la position de repos, et l'aiguille de minutes est lâchée et recommence son mouvement

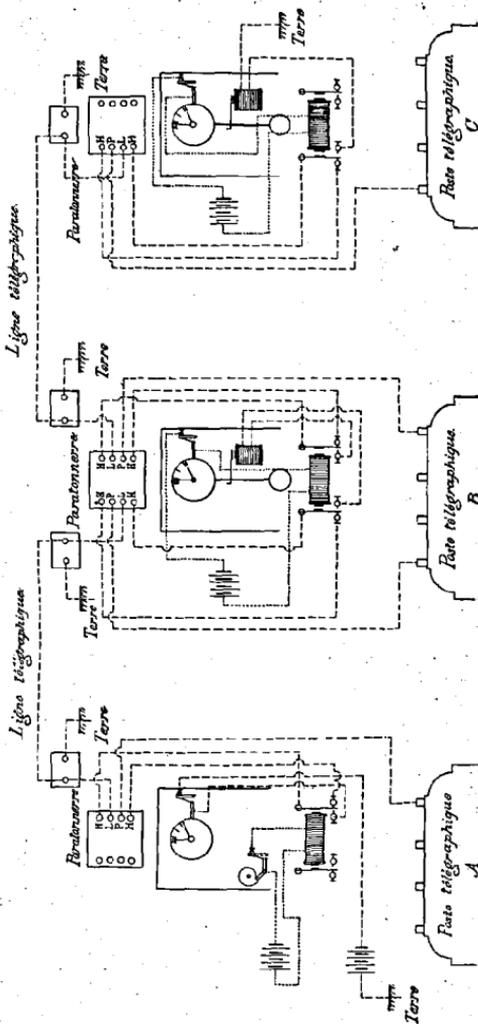


Fig. 8. — Schéma des Communications électriques pour la remise à l'heure. (Système G. Dumont et Lepaux.)

Comme cette correction se répète à chaque heure, la pendule de l'abonné ne peut jamais différer sensiblement du temps vrai. Pour avoir des indications

du temps encore plus précises, à une petite fraction de secondes près du temps vrai, on peut combiner avec l'aiguille de l'électro-aimant un signal visible qui facilite l'observation du moment de la rupture du courant.

Sur les réseaux téléphoniques de Chicago et de Cincinnati on a installé un système intéressant, imaginé par M. Oram et permettant aux abonnés de recevoir l'heure exacte à tout instant. (La description en a été publiée dans l'*Electrical Review*, New-York, tome VIII, n° 42.)

Système de remise à l'heure usité en Amérique. — L'heure de Washington est transmise tous les jours aux principaux ports de l'Atlantique. Depuis 3 minutes avant midi jusqu'au coup de midi, l'heure est transmise, seconde par seconde, à l'exception de celle qui marque chaque demi-minute et des 5 secondes qui précèdent la minute entière.

Ce service est si bien apprécié que les deux compagnies télégraphiques de Western Union et de Baltimore et Ohio suspendent le leur et prêtent, sans indemnité, leurs fils pendant les 3 minutes nécessaires, bien que ce soit le moment du jour où le public en a le plus grand besoin. L'Observatoire naval devient, pendant ce temps, une station des deux compagnies. Partout où le service est installé un électro-aimant répète le son déterminé par le passage du courant, à chaque battement produit dans la salle de distribution de Washington.

À midi précis, le courant fait tomber des balles dans les stations suivantes: Nouvelle-Orléans, Savannah, Washington (deux balles), Philadelphie, New-York, Newport, Wood's-hol (Massachusetts); Boston est desservi directement par l'Observatoire de Cambridge, les ports du Pacifique le sont par une succursale de l'Observatoire naval située à Mare Island (Californie), à 45 kilomètres de San-Francisco. Tous les ans on installe des balles dans de nouvelles stations, partout d'ailleurs où les marins les réclament.

Le même courant corrige, à midi, les trois cents ou quatre cents horloges répandues dans les écoles, les ministères, les établissements publics de Washington. Son effet est de ramener les trois aiguilles de chacune de ces horloges au zéro (0. h., 0. m., 0. s.).

Certains services importants, celui des pompiers, le Signal Office et la Coast Survey, ont des lignes télégraphiques directes qui les unissent à l'observatoire naval et peuvent réclamer l'heure toutes les fois qu'ils en ont besoin. Enfin, les particuliers obtiennent également l'heure en s'abonnant avec la Compagnie des Télégraphes. Nombre de manufacturiers, et en particulier tous les horlogers, sont abonnés. (*Académie des Sciences.*)

Synchronisation. — La remise à l'heure au lieu de se faire toutes les heures ou toutes les douze heures, peut se faire d'une façon continue, et le système porte alors le nom de SYNCHRONISATION des horloges. M. Cornu a proposé un moyen ingénieux d'opérer cette synchronisation.

RENDEMENT. — Le mot *rendement* signifie en mécanique le rapport du travail fourni par une machine ou un système mécanique quelconque à la quantité d'énergie qu'il absorbe par cette machine ou ce système mécanique. Le rendement d'un système mécanique quelconque est, en général, le produit de plusieurs rendements particuliers correspondant chacun à un phénomène déterminé.

En électricité on a souvent à s'occuper de certains rendements. Nous en examinerons quelques-uns.

Rendement d'un générateur. — Rapport entre le travail mécanique dépensé et l'énergie électrique totale fournie, c'est-à-dire entre le travail dépensé et la somme de travail qu'il transforme en énergie électrique.

Rendement électrique d'une dynamo. — Rapport entre la puissance électrique disponible aux bornes de la machine et cette puissance électrique augmentée de celle dépensée intérieurement dans les fils.

Ou encore : c'est le rapport entre le travail utile et ce dernier augmenté du travail électrique intérieur.

Pour calculer le rendement électrique, il faut connaître : 1° la puissance électrique disponible aux bornes ; 2° l'intensité I du courant ; 3° la résistance à chaud R de l'induit et de l'inducteur. On a alors : Puissance dépensée dans l'inducteur et dans l'induit = IR .

Le rendement électrique est toujours plus grand que le rendement *inductif*, puisqu'il ne comprend, de toutes les pertes occasionnées par la transformation de l'énergie, que celle, souvent minime, produite par le passage du courant dans l'intérieur de l'appareil.

Rendement industriel d'une dynamo. — Rapport entre le travail utile et le travail total dépensé. Pour évaluer le rendement industriel, il faut donc comparer la puissance mécanique absorbée et la puissance électrique disponible produite par la machine.

La puissance mécanique dépensée se mesure ordinairement par un DYNAMOMÈTRE enregistreur interposé entre le moteur et la dynamo, et la puissance électrique aux bornes de la dynamo s'évalue à l'aide de VOLTMÈTRES, d'AMPÈRÈMÈTRES et du POST DE WHEATSTONE.

(Voir au mot *MEASURE* la description des méthodes à employer pour déterminer le rendement d'une dynamo.)

Rendement des dynamos en 1888. — Dans son ouvrage *l'Éclairage à l'électricité*, M. H. Fontaine cite les rendements industriels des dynamos à courant continu mesurés pendant les expositions d'électricité de Paris, de Munich et d'Anvers ; ils varient de 6,58 à 0,81. Mais M. Fontaine ajoute que la connaissance du rendement industriel ne suffit pas pour juger la valeur réelle d'une dynamo ; un bon fonctionnement est la qualité essentielle qui prime toutes les autres. Peu de progrès ont été réalisés de 1881 à 1886, dit-il, dans la fabrication des dynamos ; cependant les principaux constructeurs n'ont jamais cessé d'améliorer leurs modèles en vue d'en réduire le prix et d'en augmenter le rendement. Les maisons Gramme, Edison, Siemens, Schuckert, Mather et Platt, Crompton, Weston, et quelques autres de moindre importance, livrent couramment des machines ayant un rendement industriel de 0,85 à 0,90 lorsque les inducteurs ont des noyaux en fer, et un rendement industriel de 0,80 à 0,85 lorsque les inducteurs ont des noyaux en fonte. Les machines commerciales ordinaires, même parmi les moins bien étudiées, ont maintenant un rendement de 0,63 à 0,70. Quelques dynamos, exceptionnellement soignées, produisent une puissance électrique atteignant 0,95 de la puissance mécanique dépensée.

Rendement d'une pile. — Le rendement maximum d'une pile est obtenu lorsque le rapport entre la résistance extérieure R et la résistance intérieure r est le plus grand possible. — Il est donc maximum quand $R = \infty$ et $r = 0$, car le rendement est alors égal à 100 pour 100. Mais la puissance est nulle.

Rendement d'une ligne reliant une machine dynamo-électrique à des foyers électriques. — La ligne est généralement composée de cuivre ayant 0,95 à 0,98 de la conductibilité du cuivre chimiquement pur. Les sections sont proportionnées aux intensités des courants employés. Dans les grandes installations industrielles, on étudie la canalisation de manière à ne lui laisser absorber que 0,8 à 0,10 de la puissance électrique totale. Le rendement de 10 pour 100 peut être considéré comme une bonne moyenne dans la plupart des cas, et servir de base dans un projet quelconque d'éclairage électrique. (H. Fontaine.)

Rendement des brûleurs (Éclairage par l'électricité). — On peut se proposer de rechercher la quantité de lumière produite pour une dépense donnée de travail électrique, ou le rapport existant entre la puissance utilisée en radiations lumineuses et la puissance totale consommée. C'est ce dernier rapport que M. H. Fontaine appelle le *rendement optique*. Le rendement optique est de 0,65 environ pour les lampes à incandescence et d'environ 0,10 pour les régulateurs à arc voltaïque.

M. Fontaine donne, dans son ouvrage *L'éclairage par l'électricité* (1888), le compte rendu des expériences qui ont servi de base à ces évaluations; mais il ajoute qu'elles ne sont ni assez nombreuses ni assez concluantes pour mériter une créance absolue.

Ce que l'on peut déterminer exactement, c'est le rendement lumineux d'un brûleur, lampe ou régulateur, ramené à la consommation d'un watt, unité de puissance électrique.

Pour déterminer ce rendement, on mesure la chute de potentiel et le courant aux bornes de l'appareil; on mesure ensuite l'intensité lumineuse au moyen d'un photomètre, et on exprime le rendement en watts par bougie ou par carcel. On trouve ainsi que les régulateurs à courant continu produisent en moyenne 160 becs Carcel, et les régulateurs à courants alternatifs, 50 becs Carcel par cheval électrique. Les lampes à incandescence absorbent en moyenne 4,8 watts par bougie, ce qui correspond à une intensité de 20 becs Carcel par cheval. (H. Fontaine.)

MM. Arlton et Perry ont fait une série de recherches ayant pour but de savoir si le rendement d'une lampe à incandescence était le même lorsqu'on se servait pour l'actionner de courants continus ou de courants alternatifs; et ils ont constaté que le rendement est le même dans les deux cas. (*Lum. élec.*, n° 24, t. XXVIII.)

(Voir au mot *mesure* les expériences faites pour la détermination du pouvoir éclairant des brûleurs électriques.)

Rendement de la houille convertie en lumière électrique. — L'effet utile de la houille servant à produire de l'éclairage électrique se calcule en multipliant l'un par l'autre : 1° le rendement de la machine à vapeur; 2° le rendement de la dynamo; 3° le rendement de la ligne; 4° le rendement optique des brûleurs. Or, ces rendements sont respectivement de : 1° machine à vapeur, 0,65 à 0,4; 2° dynamo, 0,70 à 0,95; 3° ligne, 0,90 à 0,95; 4° arc voltaïque, 0,98 à 0,12; et incandescence, 0,04 à 0,06.

On arrive ainsi à un rendement final compris entre 0,0034 et 0,0080 pour les lampes à incandescence et entre 0,0008 et 0,0150 pour l'arc voltaïque. L'emploi d'accumulateurs réduit encore ce rendement final de 20, de 30 et souvent même de 50 pour 100.

Ainsi, dans l'état actuel de la science, on ne peut utiliser en radiations lumineuses que 46 pour 1.000 au maximum de l'énergie contenue dans la houille, et le plus souvent on n'utilise guère que 4 à 5 pour 1.000

de cette énergie. Mais la lumière électrique est ce qui possède le plus grand rendement optique presque toujours le plus grand rendement final, à suite de la haute température à laquelle elle se produit. Les chiffres qui précèdent ne peuvent donc servir d'arguments contre l'éclairage électrique. Si, lieu d'employer le gaz directement à l'éclairage, s'en sert pour alimenter un moteur à gaz actionné une dynamo, la lumière des brûleurs électriques est plus intense que celle qu'on en obtient dans les brûleurs à gaz avec la même dépense. (H. Fontaine.)

Rendement d'un appareil télégraphique. — Nombre de signaux qu'un appareil télégraphique peut transmettre dans une minute, et nombre de dépêches qu'il peut transmettre à l'heure.

Voici quelques renseignements touchant le rendement des principaux appareils télégraphiques en usage.

Appareil à cadran. — Pour un tour de manivelle à 13 émissions et 13 interruptions de courant. Avec un appareil bien construit l'aiguille fait au moins 2 tours et demi par seconde; en pratique on compt sur 1 tour de manivelle par seconde; chaque lettre exige on moyenne un demi-tour et une demi-seconde d'arrêt; on a une vitesse de 60 lettres par minute et 10 mots, chaque mot comprenant 5 lettres. Soit un moyenne de 15 à 20 dépêches à l'heure.

Appareil Morse. — Un employé habile transmet 20 mots par minute et au maximum 25; moyenne 1 à 18; dans ce dernier cas, un seul employé peut facilement recevoir et écrire en même temps. Trava moyen d'un employé au morse 25 dépêches simple à l'heure (de 20 mots plus le préambule).

Appareil Hughes. — Moyenne du travail 45 à 50 dépêches à l'heure.

Appareil Baudot simple. — 50 dépêches à l'heure.

Appareil Caselli (télégraphe autographique). — 35 dépêches de 30 centimètres carrés à l'heure.

Appareil Meyer (télégraphe autographique). — 25 30 dépêches de 24 centimètres carrés à l'heure.

Appareil Le Noir (télégraphe autographique). — Même rendement que le Meyer.

Appareil Meyer (télégraphe multiple). — Il faut considérer le nombre de traits par seconde que le relais peut recevoir. Si ce nombre est représenté par n , on pourra faire travailler sur le même fil $\frac{n}{2}$ employés.

Le distributeur faisant m tours par minute et le nombre des postes distincts étant p , le produit mp donne le nombre de lettres passées par minute.

Ex : un appareil à 4 transmissions faisant 75 tours par minute rend 300 lettres par minute, 50 mots par minute ou 3.000 à 3.600 à l'heure ou 100 dépêches simples. Un appareil à 6 transmissions rend 150 dépêches.

Appareil Baudot (télégraphe multiple). — Chaque clavier fournit de 40 à 50 dépêches à l'heure.

Appareil Wheatstone (télégraphe automatique). — Le travail moyen d'un employé perforant ou traduisant est de 25 dépêches à l'heure. — Ex : entre Paris et Marseille le rendement moyen est de 80 à 85 dépêches à l'heure avec cinq employés à chaque extrémité de la ligne (863 kilom.). Avec un relais à Lyon et le même nombre d'employés le rendement s'élève à 125 dépêches à l'heure.

Appareil à miroir Thomson (télégraphe sous-marin). — Rendement sur les câbles de Marseille à Alger 18 à 25 dépêches à l'heure.

Système duplex (applicable à tous les appareils). — Le rendement est un peu moins du double de celui des appareils auxquels on l'applique. Ex : le Wheatstone monté en duplex entre Paris et Marseille peut transmettre 160 dépêches à l'heure. Sur les câbles de

Marseille à Alger le siphon recorder avec transmission automatique rend habituellement 1.500 mots à l'heure ou environ 30 dépêches. (*Agenda Duval.*)

RÉPARTITEUR. — Organe mécanique imaginé par plusieurs physiciens et mécaniciens, entre autres par Froument et Robert-Houdin, pour transformer, en la rendant uniforme, la force attractive, variable suivant la distance, des ÉLECTRO-AIMANTS, ou pour augmenter dans certaines proportions la course de l'armature soumise à cette force attractive. Nous citerons comme exemple de l'effet obtenu par ce genre d'appareils le fait suivant : une armature qui, actionnée par un électro-aimant placé à 0^m.01 ne pouvait soulever que 60 grammes, a pu, par l'intermédiaire d'un répartiteur, soulever 4 kilogramme.

RÉPÉTITEUR. — Nom donné par M. Preece à un appareil télégraphique qui remplit à lui seul les fonctions électriques de deux transmetteurs et deux récepteurs, et qui permet d'augmenter dans une grande proportion la vitesse de transmission des télégraphes Wheatstone (*V. TÉLÉGRAPHIE*).

Répétiteur optique. — Appareil qui annonce par l'apparition d'un voyant que la manœuvre d'un signal a bien été effectuée.

Sur les lignes de chemins de fer on contrôle ainsi la manœuvre de certains disques à distance. L'appareil se compose essentiellement d'un voyant ni-parti rouge et blanc commandé par une armature mobile devant les pôles d'un électro-aimant et qui peut apparaître derrière une fenêtre circulaire. Quand un courant actionne l'électro-aimant, l'armature oscille et entraîne le voyant, dont la partie rouge devient apparente et reste dans cette position tant que le courant passe dans les bobines de l'électro.

Répétiteur phonique ou transla-teur. — Système de bobines d'induction employé par M. Van Rysselberghe pour la correspondance télégraphique et téléphonique simultanée. (*V. TÉLÉPHONE à longue distance.*)

REPLENISHER. — (*V. RECHARGEUR.*)

REPRODUCTEUR DE CHARGE ou Duplicateur ou Replensher. — Appareil destiné à accroître la charge d'électricité sur des conducteurs déjà électrisés de manière à entretenir sur ceux-ci une différence de POTENTIAL déterminée à l'avance. La première idée de ces machines se trouve dans le DUBLICATEUR de Bernel. Les reproducteurs de charge ou replenshers, sont employés dans quelques appareils, notamment dans l'ÉLECTROMÈTRE absolu de sir W. Thomson. (*V. ACCUMULATEUR ou REPLENISHER.*)

RÉPULSION. — Répulsion de l'aimant. Propriété qu'a l'AIMANT de repousser un autre aimant lorsqu'on le présente l'un à l'autre par les pôles de même nom, tandis que si l'un met en regard deux pôles de nom contraire il y a attraction; d'où la loi : *Les pôles de nom contraire s'attirent et les pôles de même nom se repoussent.* La force exercée entre deux pôles magnétiques est proportionnelle au produit de leurs intensités et inversement proportionnelle au carré de leur distance et à une constante fonction du milieu.

Répulsion électrique. — Propriété qu'a un corps électrisé de repousser, après les avoir attirés, les corps légers qu'on lui présente à une certaine distance. Si on prend un PENDULE ÉLECTRIQUE isolé, constitué par une balle de sureau suspendue à un fil de soie, et que l'on approche du pendule un bâton de résine frotté et par conséquent électrisé négativement, la balle sera attirée, elle viendra toucher le bâton de résine et

sera ensuite nettement repoussée parce qu'elle se sera électrisée négativement au contact du bâton de résine; si, au contraire, on approche de la balle de sureau électrisée négativement un bâton de verre électrisé positivement, elle sera attirée. De là cette loi : *Les corps électrisés semblablement se repoussent; les corps électrisés contrairement s'attirent.* L'attraction ou la répulsion est proportionnelle au produit des charges et inversement proportionnelle au carré de la distance.

Répulsion des courants. — *V. LOIS ÉLECTRIQUES, LOIS D'AMPÈRE et COURANT.*

RÉSEAU TÉLÉGRAPHIQUE. — Ensemble des CONDUCTEURS servant à établir des communications télégraphiques. Ces conducteurs sont des FILS ou des CÂBLES aériens, des câbles souterrains, des câbles sous-marins; par conséquent, on peut considérer isolément les réseaux aériens, souterrains et sous-marins qui ne constituent que des fractions du réseau universel.

L'ensemble des communications télégraphiques d'un pays forme ce qu'on appelle son **réseau intérieur**. L'ensemble des communications télégraphiques reliant plusieurs pays entre eux forme un **réseau international**.

Il est fréquent de trouver des réseaux constitués en partie de câbles souterrains et de fils aériens.

En Europe, la construction et l'exploitation des réseaux télégraphiques constituent un monopole au profit des États. Il n'y a d'exception que pour certaines compagnies de chemins de fer, qui disposent toutes du droit de passer des dépêches pour leur service. Quelques-unes ont des réseaux qui leur appartiennent entièrement. D'autres ont le libre usage de fils spéciaux posés sur les mêmes poteaux que ceux de l'État. Mais toutes ces installations et tous ces emplois sont encore soumis à un contrôle de la part de l'État. Enfin, dans quelques pays, notamment en France, les particuliers peuvent être autorisés, sous des conditions déterminées, à se servir de fils formant de petits réseaux spéciaux (*V. BUREAU D'INSTRUMENTS*). Il est bien difficile de faire une distinction nette entre les différents réseaux, puisque les mêmes fils servent quelquefois aux relations intérieures et aux relations internationales, à la transmission des dépêches officielles, privées, des chemins de fer, et que ces réseaux ont des points de contact très nombreux qui les soudeut les uns aux autres.

Les communications sous-marines internationales sont les propriétés des câbles, qui interviennent comme les Offices d'État dans les conventions internationales et exploitent leurs lignes sous le contrôle des administrations territoriales des pays où les câbles atterrissent. Ces compagnies sont : la *Submarine Telegraph Company*, entre l'Angleterre d'une part et l'Allemagne, la Hollande, la Belgique et la France. La *Direct Spanish Company*, entre l'Angleterre et l'Espagne. La *Eastern Company*, entre l'Angleterre et le Portugal, la Grèce, la Turquie, l'Égypte; la France et la Grèce, la Turquie et l'Égypte. La *Compagnie des Télégraphes du Nord*, entre la France et le Danemark, le Danemark et la Russie.

Dans les États-Unis d'Amérique, les réseaux appartiennent à des compagnies sans contrôle sérieux de la part du gouvernement.

Une administration d'État fonctionne au Brésil. Nous donnons ci-dessous la longueur des réseaux télégraphiques des principaux États en 1885 et 1886. (Ces renseignements sont extraits du *Journal télégraphique de Berne*, n° 41, novembre 1887.)

Certains chiffres de population et de superficie ont été empruntés au *Statesman's Year-Book* de 1887.

LONGUEUR DU RÉSEAU TÉLÉGRAPHIQUE DES PRINCIPAUX ÉTATS EN 1853 ET EN 1886.

ÉTATS.	LONGUEUR des lignes du réseau entier en kilomètres.	LONGUEUR des fils conducteurs en kilomètres.	POPULATION de l'État.	SURFACE de l'État en kilomètres carrés.
Allemagne (1885).....	82.991	296.910	46.852.680	546.022
Australie du Sud (1885).....	8.632	15.083	313.423	2.338.786
Autriche (1885).....	24.988	67.038	23.868.825	300.949
Belgique (1886).....	6.081 (1)	28.701	5.784.938	29.456
Bosnie-Herzégovine (1886).....	2.721 (2)	5.457	1.336.091	57.782
Bulgarie (1886).....	4.093	5.889	2.814.929	97.999
Cochinchine (1886).....	2.254 (3)	3.156	2.604.324	136.513
Danemark (1886).....	4.038 (4)	11.008	1.980.675	39.975
Égypte (1886).....	5.034	8.656	6.806.381	28.476
Espagne (1886).....	18.800	46.776	16.935.506	607.836
France (1886) { Continent et Corse.....	84.660	267.301	38.218.002	538.572
{ Algérie et Tunisie.....	9.564	18.906	3.817.463	595.308
Grande-Bretagne et Irlande (1886).....	48.131 (5)	279.398	36.707.000	314.969
Grèce (1886).....	6.783	7.881	1.953.792	63.606
Hongrie (1886).....	17.944	66.432	15.612.102	322.356
Indes britanniques (1885).....	44.276	131.408	201.755.993	2.756.347
Indes néerlandaises (1885).....	5.774	7.814	27.542.720	1.685.664
Italie (1886).....	30.757	109.092	29.699.785	966.323
Japon (1885).....	9.226	24.635	37.868.987	384.322
Luxembourg (1886).....	305	743	213.283	2.587
Nouvelle-Galles du Sud (1885).....	10.637	31.067	957.563	864.319
Nouvelle-Zélande (1885).....	7.593	22.835	578.482	269.305
Norvège (1886).....	7.487 (6)	13.933	1.925.000	318.195
Pays-Bas (1886).....	4.770	17.019	4.396.857	33.908
Roumanie (1885).....	5.223	9.564	5.576.000	125.357
Russie (1885).....	108.404	203.096	191.566.720	27.802.638
Sénégal (1886).....	4.062	5.398	197.232	250.000
Sorbie (1886).....	2.841	4.130	1.970.000	49.656
Siam (1885).....	2.144	2.194	14.800.000	809.000
Suède (1886).....	8.512 (7)	21.352	4.682.769	442.126
Suisse (1886).....	7.923	17.063	2.846.102	41.418

OBSERVATIONS.

- (1) Non compris 1.535 kilomètres de lignes établies le long des cours d'eau ou des chemins de fer, et servant aussi aux correspondances privées.
- (2) Y compris les lignes et fils de chemins de fer.
- (3) Non compris 62 kilomètres de lignes téléphoniques.
- (4) Non compris 1.942 kilomètres de lignes de chemins de fer ayant un développement de fils de 4.519 kilomètres.
- (5) Y compris 24.680 kilomètres de fils privés, mais non compris les tubes pneumatiques et les fils des compagnies de chemins de fer.
- (6) Non compris 1.583 kilomètres de lignes de chemins de fer ayant un développement de fils de 2.531 kilomètres.
- (7) Non compris le réseau des chemins de fer comprenant 3.633 kilomètres de lignes ayant un développement de fils de 12.022 kilomètres.

Réseau français. — L'organisation du réseau français tend à rattacher à tout BUREAU chef-lieu d'arrondissement les bureaux secondaires de toute catégorie (municipaux, sémaphores, gares, écluses, etc.) groupés autour de ce chef-lieu; à relier tous les bureaux chef-lieu d'arrondissement d'un même département au bureau chef-lieu de ce département; à pourvoir chaque chef-lieu départemental des communications nécessaires pour lui assurer des relations immédiates, d'une part avec les chefs-lieux des départements limitrophes, et d'autre part avec le bureau le plus important de la région (centre de dépôt régional); à relier enfin directement Paris et, le plus possible, entre eux les centres de dépôts régionaux.

Les centres régionaux (Paris, Lille, Nancy, Dijon, Lyon, Nice, Bastia, Marseille, Saint-Étienne, Clermont-Ferrand, Limoges, Tours, Montpellier, Toulouse, Bordeaux, Nantes, Brest, Rennes, Caen, Le Havre, Alger) sont reliés entre eux et à Paris par

des fils principaux de grande communication. Les centres départementaux, lesquels sont au chef-lieu du département (à l'exception de Cherbourg et Toulon), sont reliés à Paris par fil direct et rattachés au centre régional de la région à laquelle ils appartiennent et même quelquefois à un second centre régional par un fil spécial.

On désigne sous le nom de **fils principaux de moyenne communication** ceux qui relient un centre départemental à un centre régional et ceux qui relient entre eux les centres départementaux.

Le réseau comprend en outre des **fils auxiliaires**, qui se divisent en :

1^o **Fils auxiliaires de grande communication**, reliant un bureau principal (n'étant pas centre départemental) à un centre régional;

2^o **Fils auxiliaires de moyenne communication**, reliant un centre départemental et un bureau principal, appartenant à des départements différents, ou

reliant deux bureaux principaux appartenant à deux départements différents et n'étant ni l'un ni l'autre centres départementaux ;

3° En *filis auxiliaires secondaires*, reliant un bureau municipal à un poste de dépôt ou à un autre bureau municipal situé dans un département limitrophe.

Quant aux conducteurs qui assurent les relations intérieures d'un même département et qui constituent le réseau télégraphique de ce département, ils sont désignés sous les noms de :

Fils départementaux de grande communication, lorsqu'ils relient deux bureaux principaux ;

Fils départementaux du réseau secondaire, lorsqu'ils relient un bureau municipal quelconque à son poste de dépôt ;

Fils de jonction, lorsqu'ils relient un bureau de gare au bureau de l'État fonctionnant dans la même localité ;

Enfin les *filis sémaphoriques, d'écluse, d'intérêt privé* sont ceux qui relient entre eux et aux postes de dépôt correspondants les postes sémaphoriques, les postes d'écluse ou de barrage et les bureaux d'intérêt privé.

Le réseau français est relié aux réseaux étrangers, et on appelle *filis internationaux de grande communication* ceux qui font communiquer directement un centre régional français à un centre principal de dépôt étranger. Ainsi, Paris est relié directement à Londres, Anvers, Amsterdam, Bruxelles, Hambourg, Berlin, Cologne, Francfort, Strasbourg, Mulhouse, Vienne, Genève, Milan, etc. De même, Lyon est relié avec Mulhouse, Strasbourg, Genève, Turin ; Bordeaux avec Londres, Madrid, Saragosse, etc.

Le développement des filis du réseau télégraphique français était en 1877 de 445.000 kilomètres ; en 1885, de 240.902 kilomètres, et en 1886, de 267.301 kilomètres. En 1885, il y avait 8.777 bureaux, soit une

augmentation de 4.236 bureaux depuis huit ans (de 1877 à 1885). Il y avait en 1877 un bureau par 8.127 habitants, et en 1886 un bureau par 4.292 habitants. La France occupe aujourd'hui le premier rang en Europe au point de vue du nombre des bureaux télégraphiques par rapport à la population.

Les communications télégraphiques entre Paris, les départements et l'étranger sont réparties ainsi qu'il suit (d'après le *Journal des chemins de fer*, 1888) :

Six filis relient Marseille à Paris ; Bordeaux et Lyon ont chacun 4 filis ; Lille, Le Havre, Brest et Toulouse en ont chacun 3 ; enfin, Amiens, Montpellier, Nantes disposent chacun de 2 filis.

Toutes les autres préfectures sont reliées chacune par un fil direct avec Paris, sauf Tulle, Quimper, Mont-de-Marsan, Foix, Carcassonne, Privas, Gap, Digne, Menté et Ajaccio, qui ne sont pas encore reliés avec Paris, mais le seront dans peu de temps.

Entre Paris et Londres il y a 42 filis, plus 2 filis directs de Marseille à Londres avec relais à Paris.

Il existe 10 filis pour l'Allemagne, dont 4 avec Berlin, 2 avec Francfort, 1 avec Cologne, 1 avec Hambourg, 1 avec Strasbourg et 1 avec Mulhouse. Meis n'est pas relié avec Paris.

Pour l'Autriche, on compte 3 filis : 2 avec Vienne et le troisième avec Bregenz. — Pour la Belgique, 2 filis avec Bruxelles et 2 filis avec Anvers.

Le Danemark est relié directement à Paris par son câble sous-marin de Fredericia à Calais-relais.

L'Espagne ne possède qu'un fil, celui de Madrid. La Hollande a 2 filis avec Amsterdam.

L'Italie a 6 filis, dont 2 avec Rome, 1 avec Florence, 1 avec Turin, 1 avec Gênes et l'autre avec Milan.

Pour la Suisse, il existe 4 filis : 2 avec Genève, 1 avec Bâle et 1 avec Berne.

Réseau sous-marin du globe — 1887 —

I. — ADMINISTRATIONS GOUVERNEMENTALES.	NOMBRE de câbles.	LONGUEUR (en milles nautiques)	
		des câbles.	du développement des filis conducteurs.
Allemagne	35	461,59	1.067,64
Autriche	31	96,98	403,81
Danemark	38	123,69	463,57
Espagne	3	127,46	127,46
France	45	3.197,018	3.213,018
Grande-Bretagne et Irlande	104	876,486	2.526,78
Grèce	43	157,21	457,21
Italie	22	641,17	707,14
Norvège	236	228,59	228,59
Pays-Bas	29	59,02	79,97
Russie d'Europe et Caucase	5	201,80	209,84
Suède	9	61,20	63,80
Turquie d'Europe et d'Asie	8	330,66	333,66
Cochinchine française	3	810,00	810,00
Indes britanniques : <i>Indo European Telgr. Department</i>	5	1.718,00	1.718,00
Indes britanniques : <i>Administration italienne</i>	67	155,17	155,17
Japon	11	55,498	103,368
Russie d'Asie	1	70,017	70,017
Australie du Sud	5	49,90	49,90
Nouvelle-Calédonie	1	1	1
Indes néerlandaises	1	31,31	31,31
Nouvelle-Zélande	3	195,315	284,945
Amérique britannique	3	209,60	200
Brazil	19	19,288	36,019
TOTAL	719	10.169,372	13.042,217

II. — COMPAGNIES PRIVÉES.		NOMBRE de câbles.	LONGUEUR (en milles nautiques)	
			des câbles.	du développement des fils conducteurs.
1. Submarine Telegraph Company.....	10	803,69	3.728,64	
2. Vereinigte deutsche Telegraphen-Gesellschaft.....	2	1119,00	1.704,00	
3. Hamburg-Heigolander Telegraphen-Gesellschaft...	2	40,80	40,80	
4. Direct Spanish Telegraph Company.....	2	699,13	699,13	
5. Spanish national submarine Telegraph	5	2037,09	2.637,09	
6. India Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works Company.....	2	122,140	122,140	
7. West African Telegraph Company.....	11	351,00	351,00	
8. Black-Sea Telegraph Company.....	1			
9. Indo European Telegraph Company.....	2	14,50	50,00	
10. Great northern Telegraph Company.....	20	6.108,00	6.334,00	
11. Eastern Telegraph Company.....	53	18.838,307	18.844,367	
12. Eastern and South African Telegraph Company...	5	4.554,00	4.554,00	
13. Eastern Extension Australasia and China Telegraph Company.....	21	10.437,56	11.088,70	
14. Anglo-American Telegraph Company.....	15	2.983,00	2.983,00	
15. Direct United States Cable Company.....	2	3.469,34	3.469,34	
16. Compagnie française du Télégraphe de Paris à New-York.....	4	5.537,00	5.537,00	
17. Western Union Telegraph Company.....	4	6.937,61	6.937,61	
18. Commercial Cable Company.....	6			
19. Brazilian submarine Telegraph Company.....	6	7.396,00	7.396,00	
20. African direct Telegraph Company.....	7	2.739,00	2.739,00	
21. Cuba submarine Telegraph Company.....	3	940,00	940,00	
22. West India and Panama Telegraph Company.....	20	4.119,00	4.119,00	
23. Western and Brazilian Telegraph Company.....	9	3.801,00	3.801,00	
24. River plate Telegraph Company.....	1	32,00	64,00	
25. Mexican Telegraph Company.....	2	709,00	709,00	
26. Central and South American Telegraph Company...	9	3.178,11	3.178,11	
27. West coast of America Telegraph Company.....	7	1.698,72	1.698,72	
TOTAL.....	231	103.395,726	107.893,316	
Récapitulation. } Administrations gouvernementales...	719	10.169,372	13.042,217	
	Compagnies privées.....	231	103.395,726	107.893,316
TOTAL GÉNÉRAL.....	950	113.565,098	120.935,533	

NOTA. Le mille marin télégraphique vaut 1.829 yards anglais, soit 1.853^m,284.

On trouvera aux mots CÂBLE, CONDUCTEUR, FIL, LIGNES, ISOLATEURS, POTEAU, les détails relatifs à l'installation des réseaux télégraphiques, aériens, souterrains et sous-marins.

Réseau téléométrographique. — Réseau télégraphique spécial pour l'échange journalier des observations faites au moyen des divers instruments météorologiques dans les stations internationales et enregistrés sur un même appareil, appelé MÉTÉOROGRAPHIE. Le réseau télégraphique est largement utilisé pour l'échange journalier de ces observations; mais un projet de transmission télégraphique permanente et automatique des indications mêmes et des instruments a été proposé par M. Van Rysselberghe à l'examen du congrès tenu à l'Exposition d'électricité de Paris en 1881. Ce projet est encore à l'étude.

Réseau téléphonique. — Ensemble des conducteurs servant à établir des communications téléphoniques. Ces conducteurs sont des fils aériens ou des câbles aériens ou souterrains. Jusqu'à présent on ne correspond pas téléphoniquement par les câbles sous-marins, car il s'y produit des phénomènes de condensation qui causent des perturbations dans la succession des courants et empêchent la parole de se trans-

mettre nettement et les câbles sont courts et l'arrêtent complètement sur les câbles de grande longueur.

Il existe des réseaux *téléphoniques urbains* destinés à mettre en relation téléphonique les abonnés résidant dans une même localité, et des réseaux *téléphoniques interurbains* servant à établir des communications entre les abonnés résidant dans des localités différentes. Les réseaux *téléphoniques internationaux* sont ceux qui servent à faire communiquer des stations situées dans des pays différents. Il y a aussi des réseaux *téléphoniques* d'intérêt privé.

Organisation des réseaux téléphoniques urbains. — C'est aux Etats-Unis qu'a été créé le premier réseau téléphonique. M. H. Bentley avait établi à New-York, puis à Philadelphie, vers 1835, un réseau de lignes téléphoniques privées et lorsque le téléphone fut inventé on l'essaya sur ce réseau. L'expérience ayant réussi, on songea à créer des réseaux téléphoniques spéciaux. M. Cornelius Roosevelt importa en France le téléphone Bell, en 1877. En

1878, MM. Bailey et Puskas firent à l'Exposition du Champ-de-Mars des expériences entre Paris et Versailles. On essaya avec succès le téléphone à charbon ou microtéléphone sur les lignes télégraphiques de l'État et des compagnies de chemins de fer; mais le réglage de ces appareils était difficile. Le téléphone Gower, ne présentant pas cet inconvénient, fut employé tout d'abord pour les communications urbaines; il fut remplacé peu de temps après par les appareils microtéléphoniques Adler.

Voici un historique succinct des phases diverses par lesquelles passa l'organisation des réseaux téléphoniques en France.

Un arrêté ministériel, en date du 26 juin 1879, fixe les clauses et conditions auxquelles pourraient être autorisées l'installation et l'exploitation des communications téléphoniques spéciales dans Paris et les grandes villes.

Trois sociétés se formèrent pour cette exploitation : la Société du téléphone Gower, la Société française de correspondance téléphonique et la Société du téléphone Edison. Le 30 octobre 1880, elles fusionnèrent sous le nom de Société générale des Téléphones, et depuis cette époque d'importants réseaux ont été créés à Paris et dans la plupart des grandes villes.

La partie extérieure (celle au-dessus ou au-dessous de la voie publique) est établie par les soins du service des Télégraphes de l'État au frais de la société. La Ville de Paris et les administrations municipales interviennent également pour autoriser la pose des fils. Une convention spéciale a été passée à cet effet entre la Ville de Paris et la société (v. le numéro du 22 juin 1881 du journal *la Ville de Paris*). La société paye un droit annuel pour location des parties du sous-sol de la voie publique occupées soit en égout, soit en tranchées par les câbles conducteurs, et un droit de passage pour les lignes aériennes au-dessus des voies publiques.

Nous rappellerons que les abonnés sont reliés séparément par un ou deux fils à un bureau central ou STATION CENTRALE, que chacun de ces fils aboutit à un COMMUTEUR et à un appareil INDICATEUR pour la désignation des appelants, et que des employés chargés de répondre aux appels mettent les abonnés en rapport les uns avec les autres ou autrement dil donnent les communications demandées en établissant des liaisons métalliques entre les fils desservant les postes des abonnés qui désirent converser.

Voici quelques détails intéressants sur l'installation du réseau téléphonique de Paris, qui nous ont été communiqués par M. Berthon, directeur de la Société générale des Téléphones.

Paris a été divisé en quartiers téléphoniques ayant chacun un bureau central auxiliaire. Ces bureaux sont reliés entre eux par des lignes dont le nombre est réglé sur la fréquence des communications échangées entre eux. Deux systèmes peuvent être adoptés : on peut relier chaque bureau avec tous les autres et constituer ainsi un polygone fermé, ou bien on peut faire converger toutes les lignes à un point central. C'est à ce dernier parti qu'on s'est arrêté, parce qu'on peut alors changer à ce point central les liaisons entre les lignes et régler exactement leur nombre d'après la fréquence des communications entre deux bureaux données. On a réuni le point central du réseau au bureau auxiliaire le plus important.

Le réseau de Paris est établi avec circuit métallique complet, c'est-à-dire avec un fil pour aller et un pour le retour sans emprunter la terre. La plupart des lignes sont souterraines; elles sont placées dans les égouts.

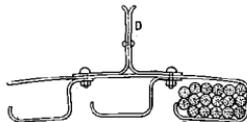
Les lignes aériennes sont faites avec des fils d'acier

de 2 millimètres de diamètre pesant environ 25 kilogrammes par kilomètre. Ces lignes sont supportées par des poteaux en fer carrés de 1^m,50 à 3 mètres de hauteur et portant 12 fils au plus. Ces fils sont attachés aux poteaux par l'intermédiaire de soursindes destinées à étouffer le bruit que le vent fait en soufflant sur les fils et qui se transmettrait directement aux poteaux et à la maison qui les porte.

Les lignes souterraines sont réunies dans des câbles recouverts de plomb, suspendus à la voûte des égouts. Chaque câble contient 14 conducteurs isolés les uns des autres constituant 7 lignes doubles d'abonné.

Chacun de ces conducteurs est formé de 3 brins de fil de cuivre de 1/2 millimètre de diamètre, tordus ensemble, et il est recouvert de gutta-percha. Cette première enveloppe du conducteur est entourée d'un goupillage de coton, qu'on emploie de 7 couleurs différentes pour faciliter les recherches. Les deux fils constituant la ligne d'un abonné sont de la même couleur; on les reconnaît donc à première vue. Ces deux fils sont tordus ensemble, puis les 7 doubles lignes sont encore tordues et recouvertes d'un ruban non goudronné; elles sont enfin tirées dans un tube de plomb.

La société a été autorisée par la Ville de Paris à placer ses câbles à la voûte de l'égout sur une largeur de 0^m,30 et une épaisseur de 0^m,10. La fig. ci-dessous donne la vue d'un crochet de suspension des câbles.



Crochet de suspension.

Chacune de ses trois parties ou anses contient 17 câbles; il y a donc 51 câbles ou 357 lignes en tout. Le crochet est scellé dans la paroi par la fig. D.

Chez les abonnés, l'entrée du poste est fort simple : il n'arrive chez l'abonné qu'un petit câble sous plomb contenant deux conducteurs; ce câble va de l'égout à la maison par une tranchée souterraine.

Aux points de jonction des lignes souterraines et aériennes on place un PARAFONNEME Bertsch.

A Londres, le réseau téléphonique est entre les mains de l'United Telephone Company. Il y a 25 stations centrales. En 1887, 4,619 abonnés étaient reliés à la station centrale, et 994 avaient des fils privés.

Dans la session des 22 et 23 décembre 1887 de l'Association des directeurs et ingénieurs des réseaux téléphoniques urbains des États-Unis, il a été fourni des renseignements intéressants sur l'organisation et le développement pris depuis quelques années par ce réseau en Amérique. En voici un extrait :

En Amérique, la première ligne téléphonique fut posée en 1877. La même année, un réseau construit à Boston, par M. Holms, pour la transmission de signaux d'alarme, fut complété par l'adjonction de téléphones et d'un commutateur central. Le premier réseau téléphonique commercial fut ouvert au public à New-Haven (Connecticut) en janvier 1878, et un mois après fut lieu l'inauguration du deuxième réseau, à Meriden.

A la suite de la concurrence faite aux sociétés fondées sous les auspices de la Compagnie Bell par la Western Union Telegraph Company, les réseaux téléphoniques se développèrent rapidement et atteignirent,

après la fusion des compagnies rivales, en 1882, un développement considérable. Les fils aériens des réseaux téléphoniques sont introduits par câbles souterrains dans les stations centrales; on peut ainsi réunir au même bureau les lignes de trois mille abonnés, tandis que le chevalat aérien ne permet pas de relier plus de mille fils.

On emploie aussi en Amérique des câbles téléphoniques aériens ou souterrains qui donnent de bons résultats. Les réseaux importants des Etats-Unis sont tous armés de paraïndres et d'appareils de sûreté, destinés à les protéger contre les courants intenses circulant dans les réseaux d'éclairage électrique qui ont pris une grande extension. Au début de l'installation des réseaux on avait relié plusieurs stations par le même fil, et l'on avait imaginé un grand nombre d'appareils pour faciliter les appels individuels; mais on est revenu de ce système et aujourd'hui on préfère relier séparément chaque abonné à la station centrale.

Exploitation des réseaux téléphoniques urbains. — M. Rothen, dans une étude sur la téléphonie (*Journal télégraphique de Berne*, 1887), constate que deux systèmes ont été suivis dans les différents pays pour l'exploitation des réseaux téléphoniques: l'exploitation par l'Etat, et l'exploitation par des compagnies privées. On envisage généralement la téléphonie comme une branche de la télégraphie, aussi presque partout où le télégraphe est géré par l'Etat, a-t-on déclaré la téléphonie domaine de l'Etat. Seulement la plupart des Etats ne font pas usage de leur droit, en ce sens qu'ils n'exploitent pas eux-mêmes les réseaux téléphoniques et se contentent de prélever sur les compagnies privées un droit de concession plus ou moins élevé.

En Allemagne, en Espagne, en Suisse, dans la Nouvelle-Zélande, dans l'Australie méridionale, la Nouvelle-Galles du Sud et le Queensland, la télépho-

nie est exclusivement exploitée par l'Etat. Quelques Etats ont donné des concessions pour certaines villes en Angleterre et en France l'Etat fait concurrence aux compagnies privées en établissant des réseaux gouvernementaux.

Quel est le meilleur système? Les opinions sont très partagées. Les adversaires de l'exploitation par l'Etat font valoir que cette exploitation constituerait un monopole. Mais par le fait la téléphonie est à tous les jours un monopole, qu'elle soit exploitée par des cités privées ou par les autorités gouvernementales; la société la plus puissante finissant toujours à absorber ses rivales. Au point de vue des intérêts publics, les deux systèmes ont leurs avantages et les inconvénients. Mais M. Rothen croit que l'exploitation par l'Etat est préférable, parce que celui-ci peut mettre le téléphone à la portée de tous moyennant une taxe réduite.

Dans une communication faite en 1887 à l'Association américaine des directeurs et ingénieurs des réseaux téléphoniques, M. Lockwood a fait remarquer que l'adjonction à chaque station centrale, d'un générateur magnéto-électrique ou d'un inverseur puisse constituer un grand progrès. Il constate qu'entre l'excellence des installations techniques l'exploitant exige, pour être satisfaisante, un personnel exercé et il pense qu'à cet égard il faudrait éliminer les femmes de toute station centrale; car outre leur moindre résistance au travail, souvent fort pénible elles ne peuvent pas se plier assez facilement aux exigences du service et à la discipline, qui doit être très sévère.

Les réseaux téléphoniques urbains se sont multipliés avec une grande rapidité. Le *Journal télégraphique de Berne* a publié dans son numéro du 25 juin 1887 la statistique des communications téléphoniques pour l'année 1885; nous extrayons de ce document les chiffres suivants, que nous avons complétés à l'aide de documents relatifs à l'année 1886.

PAYS.	LONGUEUR EN KILOMÈTRES		NOMBRE de téléphones.	POPULATION TOTALE des localités desservies.	SUPERFICIE TOTALE des localités desservies.
	des lignes.	des fils.			
Allemagne (Administration des Postes et Télégraphes de l'empire)	3.358	28.054	20.777	7.882.285	2.727
Australie du Sud (Réseau Adelaide exploité par l'Etat)	"	2.220	800	"	"
Belgique (Réseaux exploités par des compagnies privées)	"	4.585	3.241	"	"
Danemark (Réseaux exploités par des compagnies privées)	1.649	4.280	2.412	872.600	"
Espagne (Réseaux exploités par l'Etat)	1.218	1.338	481	784.965	"
France { Réseaux exploités par l'Etat,	397	1.282	1.163	695.000	"
Hongrie (Réseaux exploités par des compagnies privées)	14.571	170.045	6.000	4.149.613	"
Indes britanniques (Réseaux exploités par des compagnies privées (1886))	194	2.203	933	580.603	1.058
	1.156	1.186	304	"	"

PAYS.	LONGUEUR EN KILOMÈTRES		NOMBRE de téléphones.	POPULATION TOTALE des localités desservies.	SUPERFICIE TOTALE des localités desservies.
	des lignes.	des fils.			
<i>Indes néerlandaises</i> (Réseaux exploités par des compagnies privées)	"	640	563	281.405	"
<i>Italie</i> (Réseaux exploités par des compagnies privées)	206	3.561	2.155	1.332.187	"
<i>Luxembourg</i> (Réseau exploité par l'État)	7	99	124	"	"
<i>Nouvelle-Galles du Sud</i> (Réseaux exploités par l'État)	"	1.565	1.217	121.048	2.497
<i>Nouvelle-Zélande</i> (Réseaux exploités par des compagnies privées)	"	1.151	1.026	129.798	"
<i>Pays-Bas</i> (Réseaux exploités par des compagnies privées)	"	"	2.404	"	"
<i>Suède</i>	Réseaux exploités par l'État (1886).	"	3.105	1.720	119.500
	Réseaux exploités par des compagnies privées ou par des sociétés mutuelles des habitants (1886).	"	26.378	12.145	664.763
	Réseaux exploités par l'État (1886).	1.804	7.201	6.018	"
<i>Suisse</i>	Réseau exploité par une compagnie privée (1885).	797	797	970	80.000

A la fin de l'année 1883, la longueur totale des fils servant aux relations téléphoniques était de 243.256 kilomètres et le nombre des téléphones était de 60.713.

D'après le *Bulletin international des Téléphones*, il y avait en 1887, en Europe, 566 réseaux téléphoniques, desservant 87.219 abonnés, répartis comme il suit :

PAYS.	SITUATION				SITUATION ACTUELLE.	
	AU 1 ^{er} JANVIER 1883.		AU 1 ^{er} JANVIER 1886.		Nombre de réseaux.	Nombre d'abonnés.
	Nombre de réseaux.	Nombre d'abonnés.	Nombre de réseaux.	Nombre d'abonnés.		
<i>Autriche</i>	3	870	11	3.032	13	4.200
<i>Belgique</i>	6	1.941	7	3.365	14	4.674
<i>Danemark</i>	1	516	2	1.370	6	1.837
<i>Espagne</i>	3	"	3	594	8	2.218
<i>France</i>	18	4.437	20	7.173	28	9.487
<i>Grande-Bretagne</i>	75	7.267	83	15.114	183	20.426
<i>Italie</i>	13	5.567	16	8.346	28	9.183
<i>Luxembourg</i>	"	"	"	"	15	483
<i>Norvège</i>	"	"	"	"	21	3.950
<i>Pays-Bas</i>	4	1.340	8	2.493	9	2.872
<i>Portugal</i>	2	80	2	356	2	890
<i>Russie</i>	6	1.351	20	5.280	57	7.583
<i>Suède</i>	5	1.554	15	5.705	148	12.864
<i>Suisse</i>	2	825	36	4.800	54	6.570
TOTAUX	138	25.708	229	57.724	566	87.219

Réseaux interurbains et internationaux. — Depuis quelques années le nombre des lignes interurbaines a considérablement augmenté, et leur exploitation donne de bons résultats, surtout depuis qu'on a employé exclusivement des fils de cuivre, dont le coefficient d'AUTO-INDUCTION est beaucoup plus faible que celui du fer.

En Amérique, l'American Telephone and Telegraph Company, fondée en 1885, a adopté comme principe fondamental de n'employer pour les communications téléphoniques à grande distance que des lignes en cuivre, avec fil de retour, construites avec le plus grand soin.

On trouvera au mot **TÉLÉPHONE A LONGUE DISTANCE** des détails sur la construction des lignes téléphoniques interurbaines; nous nous contenterons de rappeler ici que ces lignes, toujours aériennes, sans empêchement absolu, demandent un isolement aussi parfait que possible et une excellente conductibilité; de là la nécessité de choisir les meilleurs ISOLATEURS, d'en réduire le nombre et d'adopter des fils supérieurs à ceux employés jadis par la télégraphie. La question d'isolement mérite toute l'attention, car les bruits étrangers perçus dans les circuits téléphoniques, et dus à des fils voisins, ne tiennent pas exclusivement à l'induction mutuelle de deux circuits; les dérivations interviennent pour leur part et entraînent par surcroît un affaiblissement des courants téléphoniques.

Dans le cas des circuits à double fil, on applique le procédé de croisement des fils et l'on choisit les supports de manière que ces fils tournent l'un autour de l'autre et que la position moyenne de chacun d'eux soit la même vis-à-vis des conducteurs extérieurs. Deux systèmes ont été employés à cet effet: le moins parfait au point de vue de la suppression des effets d'induction, mais admissible en pratique, comporte l'intervention des fils sur les poteaux mêmes; mais alors, au lieu d'un isolateur par fil, il en faut deux sur les poteaux où se produit l'intervention; le nombre des isolateurs se trouve ainsi augmenté. Dans l'autre procédé, il n'y a jamais qu'un seul isolateur par poteau et le fil change de position entre les supports, mais les fils peuvent se mélanger et les dérangements sont assez difficiles à rechercher. La première solution est adoptée entre Paris et Bruxelles (v. **TÉLÉPHONE A LONGUE DISTANCE**), la deuxième sur les lignes anglaises.

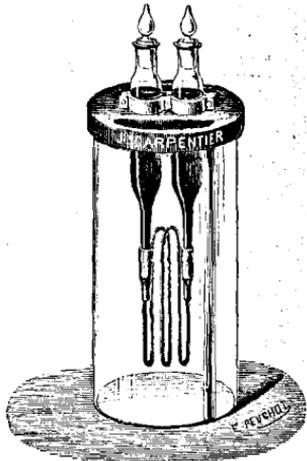
Il est bien difficile de déterminer *a priori* lequel de ces deux systèmes est le plus avantageux; cela dépend des circonstances.

Certaines lignes télégraphiques sont utilisées aussi pour la téléphonie interurbaine et internationale. On trouvera au mot **TÉLÉPHONE A LONGUE DISTANCE** des renseignements complets sur les principaux systèmes combinés à cet effet, et notamment sur le système Van Rysselberghe, qui s'est assez rapidement développé.

En octobre 1887, le système de télégraphie et de téléphonie simultanées par le système Van Rysselberghe était établi sur 45.124 kilomètres de lignes, savoir: Allemagne, 4.032 kilom.; Autriche, 293 kilom.; Bavière, 600 kilom.; Belgique, 7.206 kilom.; Danemark, 40 kilom.; Espagne, 446 kilom.; France, 4.045 kilom.; Hollande et Indes néerlandaises, 387 kilom.; Suisse, 536 kilom.; Wurtemberg, 880 kilom. Les lignes projetées atteignaient une longueur de 5.920 kilomètres.

RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE. — La *résistance* est l'obstacle présenté au COURANT par les diverses parties d'un CIRCUIT.

La résistance qui s'oppose au passage de l'électricité dans des conducteurs de différente nature dans l'intérieur des fils qui produisent cette électricité est analogue à la résistance que présentent l'écoulement de l'eau dans une conduite les parois celle-ci, leur nature, leur rugosité, etc.



Étalon secondaire de l'ohm légal.

L'unité pratique de cette résistance est l'ohm: elle est équivalente à la résistance d'une colonne de mercure pur de 1^m,06 de longueur et d'un millimètre carré de section à 0° centigrade.

La *fig.* ci-dessus représente l'étalon secondaire de l'ohm légal, c'est-à-dire un étalon disposé d'une façon plus commode que l'étalon légal. Ce dernier se compose, en effet, d'une colonne de mercure rectiligne tandis que dans l'étalon secondaire cette colonne se trouve repliée sur elle-même de manière à occuper moins de place. Elle est suspendue dans l'intérieur d'un vase de verre destiné à contenir des morceaux de glace fondante afin d'obtenir la température de 0° centigrade. La résistance d'un ohm correspond sensiblement à celle que présente une longueur de 48 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre ou encore à celle de 100 mètres de fil de fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre.

Résistance spécifique. — On appelle *résistance spécifique* d'une substance, la valeur en unités absolues de la résistance d'un cube de cette substance ayant pour côté l'unité de longueur. Cette résistance est, bien entendu, mesurée entre deux faces opposées.

La résistance spécifique d'une substance est une de ses propriétés essentielles comme sa *masse*, sa *densité*, etc. C'est le coefficient par lequel il faut multiplier le rapport de la longueur à la section d'un conducteur de cette substance pour avoir sa résistance.

Résistances spécifiques des métaux et alliages usuels. — Voici les résistances spécifiques, exprimées

en microns des métaux et alliages usuels à 0° centigrade d'après Matthiessen, en unités de l'Association britannique (l'ohm de l'A. B. est égal à la résistance d'une colonne de mercure pur de 1^m,04 de longueur sur 0^m,001 carré de section à 0° centigrade. Par conséquent, pour transformer les résistances exprimées en mesures de l'A. B. en résistances exprimées en ohms légaux, il faut les multiplier par le rapport $\frac{1,04}{1,05}$ soit 0,98113 :

Argent recuit.....	1,521
Argent éroulé.....	1,652
Cuivre recuit.....	1,616
Cuivre éroulé.....	1,652
Or recuit.....	2,681
Or éroulé.....	2,418
Aluminium recuit.....	2,945
Zinc comprimé.....	5,689
Platine recuit.....	9,458
Fer recuit.....	9,825
Nickel recuit.....	12,600
Etain comprimé.....	13,360
Plomb comprimé.....	19,850
Antimoine comprimé.....	35,900
Bismuth comprimé.....	132,700
Mercurc liquide.....	96,190
Alliage d'argent (2) et platine (1).....	24,660
Argent allemand ou maillechort.....	21,170
Alliage d'or (2) et d'argent (1).....	10,990

Voici maintenant la résistance spécifique des principaux métaux et alliages usuels chimiquement purs à la température de 0° centigrade. Ces résistances sont exprimées en *ohms-centimètres*. Elles ont pour valeur numérique la *résistance en ohms*, mesurée entre deux faces opposées, d'un centimètre cube du corps considéré :

Argent.....	{ éroulé.....	0,00001634
	{ recuit.....	0,00001504
Cuivre.....	{ éroulé.....	0,00001634
	{ recuit.....	0,00001598
Or.....	{ éroulé.....	0,00002094
	{ recuit.....	0,00002058
Aluminium recuit.....		0,00002912
Zinc comprimé.....		0,00005626
Platine recuit.....		0,00009056
Fer recuit.....		0,00009716
Nickel recuit.....		0,00012469
Etain comprimé.....		0,00013210
Plomb comprimé.....		0,00019620
Antimoine comprimé.....		0,00033500
Mercurc liquide.....		0,00039630
Maillechort.....		0,00020940

Résistances spécifiques des liquides. — Voici les résistances spécifiques de quelques liquides ; ces résistances sont exprimées en ohms légaux (*Maxwell*) :

Dissolution de sulfate de cuivre à 8 0/0.....	43,7 ohms.
Dissolution de sulfate de cuivre à 28 0/0.....	24,7 —
Dissolution saturée de sulfate de zinc.....	21,5 —
Dissolution d'acide sulfurique (densité 1,10).....	0,88 —

Dissolution d'acide sulfurique (densité 1,70).....	4,67 ohms
Acide azotique (densité 1,36).....	1,45 —
Eau distillée à 15° centigrades (Foussereau).....	0,7 mégohm
Eau ordinaire à 15° centigrades (Foussereau).....	3,393 ohms.
Alcool absolu à 15° centigrades (Foussereau).....	3,68 mégohms.

Résistances spécifiques de quelques métalloïdes à 20° centigrades :

Charbon (d'après M. Joubert).....	3,927 micromhms.
Sélénium cristallisé.....	60,000 ohms.
Phosphore rouge.....	132 ohms.
Tellure.....	0,213 ohm.

Résistance d'un conducteur. — On appelle *résistance d'un conducteur* l'obstacle qu'il oppose à la propagation du courant. Elle est proportionnelle à sa longueur l , à la résistance spécifique r de la matière dont il est formé et inversement proportionnel à sa section s :

$$R = \frac{r \cdot l}{s}$$

Dans des circuits dérivés, la résistance totale (R) est égale au produit des résistances (r, r_1, r_2, \dots) de ces circuits, divisé par leur somme.

Dans le cas de deux circuits :

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

Dans le cas de plusieurs circuits :

$$R = \frac{r_1 r_2 r_3 \dots}{r_1 + r_2 + r_3 + \dots} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots}$$

Dans le cas où tous les circuits dérivés ont même résistance, si n est leur nombre :

$$R = \frac{r}{n}$$

Calcul de la résistance d'un conducteur. — Dans le calcul de la résistance d'un conducteur intervient la résistance spécifique du métal dont il est formé. Or, cette résistance varie avec la température (elle croît généralement avec l'élevation de température, sauf pour certains alliages, et quand on dépasse une température très élevée). La loi de cette variation est donnée par la formule :

$$r' = r(1 + at + bt^2)$$

r résistance spécifique à 0° centigrade.
 r' résistance spécifique à t ° centigrade.
 a et b coefficients variables.

Valeurs des coefficients a et b (Matthiessen).

	$\frac{a}{1000}$	$\frac{b}{1000000}$
Fer.....	0,0063	+ 0,00000240
Or, argent, cuivre, zinc.....	0,003624	+ 0,00000156
Mercurc.....	0,0007485	- 0,00000308
Maillechort.....	0,0004433	+ 0,00000152

Oci posé, soit à calculer la résistance R d'un fil de cuivre recuit, chimiquement pur, d'un diamètre de 2,4 millimètres, d'une longueur de 530 mètres, à la température de 45° centigrades. On aura en se servant du tableau des résistances spécifiques des métaux en *ohms-centimètres* et de la formule précédente :

$$R = \frac{0,00001598 \times 53000}{0,12^2 \times 3,14} (1 + 0,003874 \times 45 + 0,00000170 \times 45^2) = 2,1 \text{ ohms.}$$

Résistance des fils et des câbles. — (V. CONDUCTEURS.)

Résistance des terres. — La terre, même celle qui est toujours humide, est un conducteur imparfait, un électrolyte de conductibilité spécifique relativement faible. On se sent obligé de renoncer à se servir de la terre comme ligne de retour, surtout parce qu'il est fréquemment difficile d'augmenter les électrodes assez pour rendre la résistance de passage à ces mêmes électrodes négligeable en comparaison de celle du reste du circuit. Les résistances terrestres sont rarement constantes; elles varient notablement selon la nature de la substance qui entoure les PLAQUES DE TERRE.

La résistance de passage, principalement lorsque les électrodes plongent dans un cours d'eau, peut varier de 1 à 10 selon la richesse de l'eau en substances maintenues à l'état de dissolution. Pendant les grands froids, l'eau des rivières possède, à cause de sa pureté et de la basse température, une sensibilité beaucoup moindre qu'en été, où la température est souvent de 30° plus élevée et les impuretés plus nombreuses. Mais, même lorsque les plaques de terre sont plongées dans l'eau du sol, que ce soit dans un puits ou dans le sol même, les variations dans la résistance de passage sont encore très sensibles.

Comme la télégraphie pratique exige que l'intensité du courant se maintienne entre certaines limites, il est nécessaire que les résistances terrestres ne représentent qu'une faible fraction de la résistance totale du circuit. C'est le cas des longues lignes aériennes, d'une résistance considérable, et qui aboutissent généralement à de grands centres, où les canalisations souterraines offrant un grand développement, forment une excellente communication à la terre: il n'y a donc là aucune difficulté, pas plus que lorsque les stations sont reliées par des câbles dont l'enveloppe métallique constitue une très bonne ligne de retour. Mais, pour les lignes courtes, et pour les BUREAUX INTERMÉDIAIRES où il n'y a pas de canalisations souterraines, les terres doivent être établies avec un très grand soin.

Il faut, en outre, considérer que les terres ont à remplir un double but: conduire dans le sol le courant de ligne, quand on le veut, et mettre, au moyen des PARATONNERRES de ligne, l'électricité atmosphérique de haute tension en communication avec le sol. Dans le premier cas, la ligne terrestre agit en commun avec celle de la station correspondante; dans le second cas, elle remplit une fonction absolument distincte. On pourrait donc classer toutes les lignes terrestres en deux grandes catégories: celles qui, travaillant en partie double, mènent des courants électriques à la terre, comme dans la télégraphie; celles qui, fonctionnant isolément, égalisent des tensions électriques comme celles d'un CONDENSATEUR ou d'un usage électrisé.

Quand une ligne terrestre remplit bien ces deux fonctions, on peut la considérer comme bonne. Si

elle est simplement destinée à conduire des courants électriques, la valeur moyenne réciproque de passage peut servir de mesure à la qualité de la ligne. Mais, pour la foudre, il faut tenir compte de ce que ses tensions peuvent être considérées comme infiniment comparées aux forces électromotrices dont nous disposons dans la pratique: aussi, franchit-elle facilement des résistances très notables, et, à cause de cette considération, il est fort important de savoir surtout s'il n'existe pas, dans le voisinage immédiat du chemin terrestre, des conducteurs meilleurs que ne sont pas en communication avec le paratonnerre; car, dans ce cas, la foudre se porterait infailliblement sur eux. Il en résulte que, dans l'installation d'un paratonnerre, il faut de préférence s'attacher au choix de l'endroit où se fait la communication à la terre et moins à la connaissance du sol. Dans les villes (canalisation étendue, il est par conséquent tout indiqué de relier le paratonnerre au réseau métallique souterrain.

Quand une ligne communique avec une canalisation souterraine de quelque importance, la résistance de passage est très voisine de 0, même dans le cas général où cette canalisation ne plonge pas dans l'eau du sol. Cependant, comme le degré d'humidité croît avec la profondeur, il vaudra mieux, de deux séries de conduites, choisir la plus basse pour s'y relier.

La résistance de passage d'une plaque ne dépend pas seulement de la conductibilité du sol, mais aussi des dimensions de la plaque et de sa position relativement à la surface horizontale qui limite d'un côté le terrain humide: cette résistance, pour une même plaque rectangulaire, est plus grande si la plaque est horizontale que si elle est verticale, et si le côté vertical est le plus petit côté que si c'est le plus grand elle diminue encore davantage si c'est un diagonal que l'on rend verticale.

Mesure de la résistance de la terre. — Pour mesurer la résistance de la terre entre deux points donnés on peut opérer comme suit, lorsqu'on dispose de deux fils réunissant ces deux points. On fait boucher les deux fils à leurs extrémités éloignées et on mesure, à l'aide du POINT DE WHEATSTONE, la résistance de la boucle (V. MESURE, mesure de la résistance de deux lignes parallèles, p. 634). Soit R_1 cette résistance. On fait mettre à la terre, à son extrémité éloignée, le fil n° 1 et on mesure la résistance de ce fil et de la terre (V. MESURE, mesure de la résistance d'une ligne aérienne dont une extrémité est reliée à la terre, p. 524). Soit R_2 cette résistance. On fait mettre le fil n° 2 à la terre et on mesure, en opérant de la même façon que pour le fil n° 1, la résistance du fil n° 2 et de la terre; soit R_3 cette résistance.

$\frac{R_1 + R_2 + R_3}{2}$ est égale à la résistance de la terre x augmentée des résistances r_1 et r_2 des deux fils n° 1 et n° 2.

De l'équation :

$$\frac{R_1 + R_2 + R_3}{2} = x + r_1 + r_2$$

on tire :

$$x = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{2} - (r_1 + r_2)$$

ou :

$$x = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{2} - R_2$$

puisque $R_1 = r_1 + r_2$.

Remarquons que cet essai permet aussi de calculer r_1 et r_2 ; car $R_1 = x + r_1$ et $R_2 = x + r_2$.
On a donc :

$$\frac{R_1 + R_2 + R_3}{2} = (x + r_1) + r_2 = R_2 + r_1;$$

d'où :

$$r_1 = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{2} - R_2$$

et

$$r_2 = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{2} - R_1.$$

Cette méthode pour mesurer la résistance r_1 ou la résistance r_2 permet d'éliminer les erreurs dues à une terre défectueuse, mais elle laisse subsister les erreurs dues aux courants parasites, c'est-à-dire dus aux courants développés par les perturbations électriques qui surviennent à la surface de la terre et aussi aux courants engendrés par la polarisation des plaques de terre.

La formule qui donne la vraie valeur de la résistance du fil dans ce cas particulier est assez compliquée; mais M. Dressing a montré que l'on pouvait la simplifier en obtenant une approximation très suffisante. On emploie le pont de Wheatstone (v. mesure, fig. 7, p. 324). On essaye la conductibilité du fil en appliquant à la ligne le pôle zinc de la pile et on obtient l'équilibre avec une résistance c . On renverse le sens du courant d'essai et on obtient cette fois l'équilibre avec une résistance c' . En désignant par a et b les résistances des deux autres branches du pont, on peut poser :

$$c = \frac{b}{a} \sqrt{c' c}.$$

Résistance électrique des substances isolantes. — Les méthodes employées pour déterminer expérimentalement la résistance électrique des substances isolantes sont au nombre de quatre. Les deux premières, applicables aux liquides peu résistants, consistent à comparer les différences de potentiel développées dans un même circuit entre les extrémités des conducteurs que l'on étudie; la troisième, qui convient pour les solides et les liquides de résistances moyennes, est basée sur l'égalisation des potentiels en deux points d'un même circuit pris à l'intérieur et à l'extérieur de la pile. Enfin la quatrième méthode, qui s'applique aux corps très résistants, consiste à mesurer la durée du passage d'une quantité déterminée d'électricité à travers le corps expérimenté.

Dans une thèse présentée à la Faculté des sciences de Paris, M. Foussecau résume ainsi, d'une façon claire, les résultats des expériences faites jusqu'à présent :

« 1^o La résistance de tous les corps étudiés jusqu'à ce jour décroît quand la température s'élève.

« 2^o Le phénomène de la solidification est généralement accompagné d'un accroissement de résistance considérable. La résistance primitive devient de quatre-vingts à vingt mille fois plus grande au moment de ce changement d'état. Cette modification est moins accentuée pour les corps qui se solidifient en passant par l'état pâteux (exemples : soufre mou et chlorure de zinc).

« 3^o La valeur de la résistance électrique subit, d'un corps solide à un autre, des variations très grandes qui peuvent constituer un caractère franchi, propre à distinguer ces corps les uns des autres.

« 4^o La structure des corps solides a une influence marquée sur la valeur de leur résistance. Il paraît

résulter des expériences faites à ce sujet que la forme cristalline est particulièrement défavorable au passage de l'électricité et que les solides formés de très petits éléments cristallins ou non, confusément groupés, présentent une conductibilité plus grande.

« 5^o Le phénomène de la trempe se manifeste en particulier dans les différents verres par un accroissement notable de la conductibilité, comme si, en augmentant l'élasticité de la substance on la rendait plus apte à transmettre l'électricité. Ainsi, le soufre mou est plus conducteur que le soufre cristallisé.

« 6^o Il existe une relation intime entre la résistance électrique et le coefficient de frottement intérieur des liquides. Ces deux quantités demeurent proportionnelles pour un même corps en ce qui concerne l'eau et les sels fondus.

« 7^o L'observation de la résistance constitue un moyen plus sensible que les procédés chimiques pour contrôler la pureté de certains bains liquides, et en particulier de l'eau distillée.

« 8^o Toutes les altérations allotropiques qui se produisent dans les liquides sont signalées par des changements notables dans la conductibilité. C'est ce que montre, en particulier, l'étude du soufre liquide. »

Résistances spécifiques de quelques isolants :

Résistance en millions de mégohms (d'après M. Foussecau) du verre ordinaire à $+ 61^{\circ} 2$ 0,705
à $+ 30$.. 91,000
base de soude et de chaux à $- 17$.. 7.970,000
($d = 2,533$).

Résistance du cristal ($d = 2,933$) à $+ 46^{\circ}$ 6.182,000
en millions de mégohms (d'après M. Foussecau) à $+ 195^{\circ}$ 41,600

Résistance spécifique en mégohms (d'après MM. Ayrton et Perry) :

Du mica, à $+ 20^{\circ}$ 84×10^6

De la gutta-percha, à $+ 24^{\circ}$ 450×10^6

De la gomme laque, à $+ 28^{\circ}$ 9.000×10^6

Du caoutchouc vulcanisé flexible ou composition de Hooper, à $+ 24^{\circ}$ 45.000×10^6

De l'ébonite (caoutchouc vulcanisé solide), à $+ 46^{\circ}$ 28.000×10^6

De la paraffine, à $+ 46^{\circ}$ 34.000×10^6

De l'air froid pratiquement indéfinie.

En ce qui concerne la gutta-percha, il convient d'observer que sa résistance spécifique varie suivant sa qualité, son degré d'épuration, la température, la durée d'électrisation et la pression à laquelle elle est soumise.

Clark et Bright ont établi la formule suivante : $R' = R_0 t^a$, qui permet de calculer la résistance spécifique R' de la gutta à la température t , R_0 étant la résistance spécifique à 0° et a un coefficient égal à 0,874.

La formule : $R_p = R \{1 + 0,00321 p\}$ permet de calculer la résistance spécifique R_p à la pression p (en kilogrammes par centimètre carré ou en atmosphères) connaissant la résistance spécifique R à la pression ordinaire.

Résistance électrique des bois. — M. Aitdenbrooke a mesuré les résistances électriques des différentes essences de bois que l'on emploie dans la construction des appareils électriques. Pour cela il plaçait des barres de 2 en 2 pouces dans des pièces de bois de diverses essences. Ces pièces avaient 5 pouces sur 7; elles étaient conservées dans un en-

droit chaud et sec quelque temps avant l'époque de l'essai. On a ainsi trouvé les résistances suivantes :

Acajou.....	48 mégohms
Sapin.....	214 —
Bois de rose ..	291 —
Gatac.....	397 —
Noyer.....	478 —
Teck.....	734 —

Ces essais étaient faits dans le sens des fibres du bois. Quand l'essai est fait normalement au sens des fibres, la résistance est alors de 50 à 180 0/0 plus élevée.

Résistance du corps humain. — En 1884, une commission scientifique instituée par le Parlement anglais a décidé qu'un courant électrique d'une force électromotrice de 300 volts était dangereux. Il résultait des recherches faites à cette époque que la résistance du corps humain mesurée au contact des mains varie entre 40.000 et 30.000 ohms suivant que les mains sont moites ou sèches. Aussi l'intensité du courant deviendrait dangereuse à partir de $\frac{300}{10000}$ ou $\frac{1}{33}$ ou 0,03 AMPÈRE.

D'autre part, le professeur Jolly, de Strasbourg, a trouvé que la résistance du corps humain variait dans de grandes limites suivant les conditions de l'expérience et les points du corps mis en contact. Il a fait des mesures sur 40 personnes, 30 hommes et 20 femmes; le contact se faisait au moyen d'électrodes plongées dans une solution de sulfates de cuivre. La résistance variait avec le point de contact de 46.000 à 400.000 unités Siemens (15.091 à 377.358 ohms). La paume de la main et la plante des pieds offraient au passage du courant une résistance bien moindre que les autres parties de la peau. Le professeur Jolly admet comme résistance moyenne 43.300 unités Siemens (38.962 ohms) dans le premier cas et 23.000 unités Siemens (21.698 ohms) dans le deuxième cas, avec des électrodes humides. Il résulterait de ces chiffres qu'un courant devient dangereux dès que son intensité atteint 0,00728 ampère.

Enfin, d'après le Dr W. H. Stone, la résistance électrique du corps humain serait bien moins grande qu'on ne le suppose. Il a constaté que le corps humain possède une grande CAPACITÉ ELECTRO-STATIQUE et donne des signes de polarisation, grâce à laquelle il agit comme une PILE SECONDAIRE et engendre une FORCE CONTRE-ELECTROMOTRICE. La condensation a pour effet de diminuer la résistance observée avec des courants alternatifs; la polarisation, au contraire, l'augmente avec des courants continus. M. Stone a déterminé la résistance d'une personne adulte; mesurée entre les deux pieds, cette résistance est égale à 939 ohms; d'un pied à une main, elle est égale à 995,45 ohms.

Nous tenons observer qu'il est fort difficile de mesurer exactement la résistance du corps humain. Il convient de se servir exclusivement, pour faire cette mesure, d'électrodes imparisables telles, par exemple, que des plaques de zinc recouvertes de papier buvard imbibé d'une solution de sulfate de zinc, afin d'éviter la force contre-électromotrice qui vient augmenter la résistance et fausser la mesure. Il faut également observer que l'épiderme, qui est nécessairement intercalée entre l'électrode et le corps lui-même, offre une très grande résistance au passage du courant. C'est ce que l'on constate si on applique les électrodes sur des parties du corps dénudées de leur épiderme par l'action de vésicatoires.

Résistance en électrothérapie.

Dans les applications médicales, la portion principale du circuit extérieur est représentée par le corps. Il y a donc intérêt à en connaître la valeur. Tous les traités d'électrothérapie contiennent un chapitre important sur ce sujet. Malheureusement on n'y trouve gué que des données contradictoires et des résultats qui varient suivant la méthode employée par chaque auteur. C'est que la question est complexe : il faut d'abord la préciser. On a commencé par étudier séparément la résistance électrique des divers tissus qui entrent dans la structure du corps. Là, on trouve dans les chiffres allégués des différences notables, ce qui est inutile de reproduire ici les tableaux indiquant la résistance propre du sang, des muscles, des nerfs et des cartilages, etc.

En résumé, l'opinion généralement admise est que ces résistances sont en raison inverse de la quantité de liquide contenue dans les tissus. Ainsi, le plasma du sang, sont les meilleurs conducteurs; les nerfs viennent qu'après les muscles, etc. Ces indications concernent que les parties prises sur le cadavre ou séparées du corps des animaux.

Mais quand il s'agit de mesurer la résistance du corps ou des tissus vivants, les difficultés commencent. Un corps vivant ne peut pas être, sous ce rapport, assimilé à un conducteur quelconque. Les propriétés communes à tous les conducteurs viennent s'ajouter celles propres aux corps vivants, c'est-à-dire les propriétés physiologiques. Ainsi, lorsque nous plaçons le corps d'un patient dans un circuit, pour mesurer sa résistance, nous rencontrons une première difficulté d'ordre physique. Ce corps est un composé d'ELECTROLYTES, et comme tel il exige, pour la détermination de sa résistance, d'autres procédés qu'un conducteur métallique. Le courant y détermine des changements chimiques et physiques qui modifient à chaque instant la résistance. Mais ces changements ne sont rien en comparaison de ceux d'ordre physiologique. Ceux-ci consistent principalement dans des dilatations ou resserments des vaisseaux qui altèrent d'un instant à l'autre la répartition des liquides au voisinage des électrodes. Si bien que, lorsqu'on fait traverser une partie du corps par un courant, en observant l'aiguille du galvanomètre on constate que la valeur du courant augmente continuellement. Elle ne devient stable qu'après un certain temps, qui varie de quelques secondes à plusieurs minutes, et suivant des conditions que nous aurons à examiner.

Il y a donc à distinguer : 1^o la rapidité avec laquelle augmente le courant; 2^o sa valeur définitive. Celle-ci représente sensiblement la moyenne que l'on obtiendrait en mesurant directement la résistance des divers constituants de l'organisme, pris isolément à longueur et section égales.

Par conséquent, disons-le de suite, cette valeur définitive n'a pas grande importance. Il en est tout autrement de la période variable du courant. C'est pendant cette période que se produisent les phénomènes physiques et physiologiques en vertu desquels la résistance diminue progressivement. Par suite les différences de sa durée chez les divers sujets peuvent servir à caractériser les particularités individuelles. Ainsi, la résistance commence à diminuer après l'établissement du courant, en raison de plusieurs circonstances. La principale est l'afflux du sang au voisinage de l'électrode par le fait de la dilatation paralytique des vaisseaux. La partie contenue plus de liquide organique devient plus conductrice. On comprend donc que la rapidité avec laquelle augmente l'intensité du courant, ou ce qui est la même

chuse, avec laquelle diminue la résistance, puisse être prise comme indication de la facilité avec laquelle les vaisseaux de la peau se laissent distendre par l'effet de l'excitation galvanique et par conséquent de la tonicité vasculaire. La résistance et ses variations servent donc à faire apprécier la manière dont se comportent les vaisseaux et leurs nerfs sous l'influence du courant électrique. La pathologie, comme on va le voir, peut puiser dans cette propriété des enseignements utiles.

Nous venons de parler de l'action du courant, d'une façon générale; mais si l'on veut préciser on se trouve en présence de faits importants. Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, la rapidité avec laquelle diminue la résistance varie, dans des proportions encore mal déterminées, avec la force électromotrice qui produit le courant. Les comparaisons doivent donc être faites avec une force électromotrice uniforme. En second lieu, pendant la période variable, la résistance change à chaque instant. C'est même une des raisons qui rendent le *test de Wheatstone* à peu près inutile, dès lorsqu'on veut prendre la résistance à un moment donné de cette période, parce qu'elle change pendant le temps nécessaire à l'ajustement des bobines.

Le Dr R. Vigouroux a proposé un procédé pratique pour mesurer la résistance à un moment quelconque. Il emploie une disposition de circuit (v. TABLE) qui permet au moyen d'un simple déplacement de manivelle, de transférer le galvanomètre en voltmètre. Voici comment se fait la mesure. On applique les électrodes sur deux points déterminés et on fait passer le courant de dix couples. On peut en prendre davantage si on est averti par une épreuve antérieure que la résistance du sujet est exceptionnellement grande, telle que dix couples ne donneraient pas une indication galvanométrique facilement appréciable. Mais il faut bien se rappeler que les résistances de deux individus ne sont comparables que pour le même nombre de couples et la même durée d'application. On compte soixante secondes avec le chronographe et on note l'intensité obtenue en dix millièmes d'ampère. Alors on abaisse la manivelle des voltmètres et on note la force électromotrice entre les électrodes. Il n'y a plus qu'à diviser cette force électromotrice exprimée en volts par l'intensité, pour avoir la résistance. De cette façon on n'a pas à se préoccuper de la polarisation des électrodes, ni des variations que peut avoir subies la force électromotrice des couples. En effet, une troisième manivelle permet de constater la force électromotrice d'un nombre quelconque des couples de la pile. En comparant cette indication à celle donnée par les électrodes, on a la valeur de la polarisation de celles-ci. Il est presque inutile d'ajouter que la situation respective des électrodes doit être la même dans les diverses épreuves.

En mesurant ainsi la résistance chez un grand nombre d'individus sains ou malades, M. Vigouroux est arrivé à des résultats intéressants. D'abord les différences de résistance, individuelles ou d'une portion de corps à l'autre, ne sont pas, comme on l'enseigne communément, dues simplement à des différences d'épaisseur ou d'élasticité de l'épiderme. Celui-ci est mis entièrement hors de cause par des expériences concluantes, qu'il serait trop long de rapporter ici. Les variétés dans la résistance dépendent surtout des conditions physiologiques du système nerveux vaso-moteur. M. Vigouroux a trouvé que les maladies, suivant leur nature, modifient l'unité de la résistance. Prenons, par exemple, les cas extrêmes: dans la névrose désignée sous le nom de goitre exophtalmique ou maladie de Basedow, la résistance

est très faible; elle tombe au-dessous du quart et du cinquième de la moyenne et même moins (de 800 à 1.500 ohms, au lieu de 5 ou 6.000). Dans l'hystérie, au contraire, et notamment lorsqu'il existe de l'anesthésie cutanée, elle est de beaucoup supérieure à la moyenne (de 15 à 20.000 ohms). Dans le premier cas il y a dilatation paralytique des petits vaisseaux, et dans le second constriction spasmodique. Les anomalies de la résistance se rencontrent dans une foule d'états morbides; elles sont de nature à jeter un grand jour sur les conditions de la nutrition et de la circulation. En d'autres termes, la mesure de la résistance doit être un mode d'exploration clinique, au même titre que celle du pouls ou de la température. On a déjà vu (v. FRANKLINISATION) l'application originale de cette donnée à la résistance au traitement électro-statique. Le même mode d'examen peut encore servir à confirmer l'existence, dans les régions profondes, de collections liquides que les autres signes feraient seulement soupçonner.

Résistance de l'arc voltaïque. —
(V. ARC VOLTAÏQUE.)

Résistance des lampes à incandescence. — M. Anthony, électricien américain, a constaté que la résistance du filament des lampes à incandescence augmente avec la différence de potentiel aux bornes. Cette résistance diminue, en général, quand la température augmente. Dans les cas observés par M. Anthony, le changement dans la résistance avait déjà lieu à basse température, et l'augmentation de résistance avec la température suivait une progression régulière jusqu'à ce que la lampe fût poussée à fond. En revenant alors en arrière, on constatait une résistance du filament plus grande qu'apparaissant; donc il y avait eu modification de la composition moléculaire. Ce fait confirme les expériences antérieures. A partir d'une certaine intensité lumineuse de la lampe, la résistance du filament devient constante. Si, de plus, on observe des lampes à incandescence destinées à fonctionner sur des circuits de foyers à arc avec des courants de 6, 8 et 10 ampères, et des intensités lumineuses de 32, 55 et 125 bougies, on remarque, après un fonctionnement de 200 à 300 heures, que la résistance du filament a diminué sensiblement, après quoi elle augmente de nouveau régulièrement; le phénomène dépend du temps de l'expérience et de l'intensité lumineuse à laquelle les lampes ont été poussées. La conclusion à tirer de ces faits est qu'il est essentiel de régler convenablement les lampes à incandescence comme tout autre foyer lumineux. On évite ainsi un gaspillage de courant onéreux et sans résultat au point de vue de l'éclairage.

RÉSISTANCE MAGNÉTIQUE. — C'est l'inverse de la PERMÉABILITÉ MAGNÉTIQUE ou conductibilité du milieu considéré pour le flux d'induction. La *résistance magnétique* peut être assimilée à la *résistance électrique*; mais il existe une grande différence entre ces deux grandeurs. En effet, la résistance électrique d'un conducteur est indépendante de l'intensité du courant qui le parcourt, tandis que la résistance magnétique croît avec l'intensité du flux d'induction, surtout avec les corps très magnétiques tels que le fer.

« La résistance magnétique spécifique oscille entre 1/2000 et 1/3 pour les métaux magnétiques, et est égale à 1 dans l'air ou le vide; elle est supérieure à 1 dans les corps DIAMAGNÉTIQUES, tout en restant cependant voisine de l'unité. Les valeurs absolues des résistances magnétiques dépendent des dimensions des corps et de leurs formes; elles varient aussi avec le degré de saturation et la nature de chacune des

parties du circuit magnétique. La résistance du circuit magnétique des MACHINES et TRANSFORMATEURS employés en industrie doit toujours être représentée par un nombre plus petit que l'unité. » (*Hospitalier.*)

RÉSISTANCE (Bobine de). — (V. BOBINE.)

RÉTENTIVITÉ MAGNÉTIQUE. — Expression proposée par M. Hopkinson pour désigner l'induction rémanente après application de grandes forces magnétisantes. L'expression de force COERCITIVE a toujours eu un sens assez vague; ce serait (*Traité de MM. Mascart et Joubert, vol. 1^{er}, § 302*) la cause. Inconnue qui produit le MAGNÉTISME RÉMANENT. M. Hopkinson propose de donner le nom de rétentivité magnétique à la force magnétique qui ramène la substance à l'état neutre après l'application d'une force magnétique intense. (V. *Recherches récentes sur le magnétisme*, traduit de l'anglais. — *Lumière électrique*, t. XXIII, 1887, n° 7.)

RETOUR (Choc en). — (V. CHOC EN RETOUR.)

RETOUR (Courant de). — Courant qui se manifeste sur les lignes télégraphiques bien isolées lorsqu'on se met rapidement sur réception après avoir mis la ligne en communication avec la pile.

RETOUR (Fil de). — (V. FIL TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE.)

RÉVEILLE-MATIN ÉLECTRIQUE. — Il existe de nombreux systèmes de réveille-matin électriques; celui de M. Burmann est intéressant en ce qu'il se compose d'une montre que l'on peut porter sur soi, pendant la journée, et qui, étant posée le soir sur un timbre, l'actionne au moment voulu.

L'appareil électrique proprement dit, représenté ci-contre, se compose d'une petite pile P, d'un électro-aimant E et d'un trembleur à marquée M, contenus dans une boîte que recouvre le timbre T.

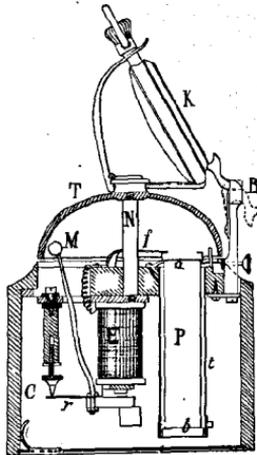
L'un des pôles *a* de la pile communique par un ressort *f* avec le fil de l'électro-aimant E et avec un ressort isolé *r*. L'autre pôle *b* est relié par le tube métallique *l* (qui contient la pile P) et un fil à une pince de contact à bascule B.

Le verre de la montre, représenté en K, est enclâssé dans un anneau ou chalon monté librement sur une matière isolante et, par suite, séparé électriquement de la masse de la montre. Ce verre, qui peut tourner, porte une languette métallique flexible placée sur le parcours de l'aiguille des heures. En faisant tourner le verre, on amène la languette à l'heure à laquelle on désire être réveillé, on place ensuite la montre entre les trois grilles métalliques constituant le support et on rabat le levier oscillant B, lequel vient alors au contact avec le cadre métallique ou chalon du verre. Aussitôt que l'aiguille des heures touche la languette, le circuit de la pile se trouve fermé, le courant passe par la masse de la montre, par la tige N et arrive enfin au contact C. La sonnerie entre alors en action et ne cesse de tinter que lorsque l'aiguille des heures a dépassé et relâché la languette, dont la largeur est calculée de façon à donner un contact plus ou moins prolongé.

M. J. Lamou, de Genève, a exposé en 1867, à Paris, une pendule disposée de façon à donner un contact électrique aux heures ou aux demi-heures : autour du cadran était fixé un cercle métallique relié par un fil à une ou plusieurs sonneries, et sur le plat du cercle étaient percés des trous en face de chaque heure et de chaque demi-heure. Dans l'un

de ces trous on plantait une cheville faisant saillie; elle était rencontrée par un ressort très délicat fixé sur l'aiguille des heures et dont le contact avec la cheville fermait le circuit comprenant les sonneries et bien entendu, une pile.

M. Lamou nous indique aussi une solution fort simple : il se sert d'un pendule à poids dit coucou. Après avoir monté les poids tout au haut, il marque vingt-quatre heures après, sur la chaîne de la sonnerie l'endroit de cette chaîne se trouvant près de la boîte et à cette place il fixe sur la chaîne une boucle métallique. Contre la boîte il place deux lames de laiton isolées l'une de l'autre, dont les extrémités sont placées de chaque côté du trou par où passe l'



Réveille-matin électrique.

chaîne. Si on monte les poids aussitôt que six heures, par exemple, ont sonné, le lendemain la boucle se trouvera en contact avec les deux ressorts lorsque six heures sonneront, et comme l'un des ressorts communique avec la pile, l'autre avec les sonneries, ces dernières vibreront tant que l'on n'aura pas monté les poids du coucou ou manœuvré des interrupteurs de courant.

RHÉÉLECTROMÈTRE. — Appareil imaginé en 1833 par M. Marianini pour étudier les courants des PILES. Ce savant mesurait leur intensité par l'aimantation qu'elles produisent dans le fer et évaluait cette aimantation par les déviations qu'elle provoquait sur une AIGUILLE AIMANTÉE.

L'instrument se compose d'un fil isolé enroulé sur un tube de verre dans l'intérieur duquel on place la tige de fer que le courant aimante en circulant dans le SOLENOÏDE ainsi formé. Cette tige, pouvant être retirée après chaque expérience, était chauffée et refroidie ensuite lentement afin de la débarrasser de tout MAGNÉTISME RÉMANENT. Le solénoïde est supporté par une sorte d'étrier et maintenu au-dessus d'une NOUSSOLE dont l'aiguille est montée sur un pivot ou suspendue à un fil de cocoon.

Le rhélectromètre peut servir aussi à découvrir la direction de la foudre. A cet effet on relie deux points, pas trop rapprochés, d'un PARATONNERRE ordinaire avec les extrémités du fil de la bobine de l'instrument. Quand la foudre parcourt le paratonnerre, une portion de l'électricité aimante au passage le barreau ou le faisceau de fils de fer placé dans le solénoïde, et la déviation de l'aiguille indique si la foudre a été *ascendante* ou *descendante* dans le paratonnerre. Marianini proposa aussi, afin d'éviter la fusion du fil de l'instrument, de relier les deux bouts du solénoïde à un fil placé parallèlement au paratonnerre et à une certaine distance de ce dernier. Dans ce cas l'instrument était électrisé par induction. M. Melsen, reprenant les idées de Marianini, a donné au rhélectromètre sa forme définitive. Les instruments actuels consistent en une grosse boussole placée dans une boîte dont le fond est occupé par une bobine, à l'intérieur de laquelle on place des liges de fer ou mieux d'acier dénuées de tout magnétisme.



Rhéocorde de Pouillet (dit de Poggendorf), donnant les fractions de Siemens.

puissent varier. Cet appareil sert à introduire dans un circuit des résistances plus ou moins grandes et est employé dans certaines méthodes de mesures électriques.

La fig. ci-dessus représente le **Rhéocorde de Pouillet** (dit de Poggendorf). Le fil métallique *ff* part de la borne B, passe sur une poulie T et revient à la borne P. P représente un curseur à vernier muni d'un bouton *m* et se mouvant le long de la règle divisée R. La cheville F sert à réunir les bornes B et P lorsque dans une expérience on a besoin de supprimer la résistance du rhéocorde.

RHÉOLYSEUR de M. E. Wartmann. — Appareil formé d'une sorte de **PONT de WHEATSTONE**, permettant de faire passer dans un GALVANOMÈTRE un courant que l'on peut faire varier depuis 0 jusqu'à un maximum. Il donne donc la facilité d'utiliser ce courant en graduant son INTENSITÉ suivant les besoins.

RHÉOMÈTRE (du grec *rheo*, je coule; *metron*, mesure). — On a d'abord nommé **rhéomètre** l'instrument qui, perfectionné, est devenu le GALVANOMÈTRE. C'était simplement un cadre rectangulaire en laiton, entourant une AIGUILLE AIMANTÉE suspendue horizontalement dans le plan du MÉRIDIEN MAGNÉTIQUE. En mettant en communication avec les pôles d'une pile les extrémités du fil qui formait le cadre, on y excitait un courant dont l'existence et la force étaient accusées par la déviation de l'aiguille. On a ensuite rendu l'instrument plus sensible en suspendant au fil deux aiguilles parallèles et parallèles, mais dont les pôles étaient renversés et qui constituaient un système ASTATIQUE. Le rhéomètre a été imaginé par Schweigger, peu de temps après la découverte d'OEZTÉD.

RHÉOPHORE (du grec *rheo*, je coule; *phoros*, qui porte). — Non donné à chacun des fils d'une pile qui conduisent les courants électriques.

L'aiguille aimantée, placée à angle droit, peut parcourir un cadran gradué.

Pour se servir de l'instrument, on relie la borne où aboutit l'une des extrémités de la bobine au paratonnerre, et l'autre borne, où aboutit l'autre extrémité de la bobine, à la terre. Le sens des déviations indique celui dans lequel circule la foudre.

Comme le rhélectromètre s'applique bien aux observations sur les fils télégraphiques on plutôt sur les fils de terre des bureaux, son emploi a été prescrit depuis plus de dix ans sur les réseaux télégraphiques belges. L'instrument est également en fonctionnement à l'Observatoire du mont Ventoux (France); il accuse fréquemment les passages de décharges violentes.

RHÉCORDE. — Appareil composé d'un fil métallique (platine ou maillechort) tendu entre deux bornes et muni d'un curseur métallique servant à prendre le contact, de telle façon que la longueur du fil parcouru par le courant et par suite sa RÉSISTANCE

Méd. Nom sous lequel on désigne les instruments employés pour appliquer l'électricité sur de larges surfaces du corps afin de diminuer l'excitation locale. (V. ÉLECTRODE.)

RHÉOSTAT. — Appareil au moyen duquel on rend constante l'INTENSITÉ des courants électriques.

Rhéostat de Wheatstone. — L'intensité d'un courant de pile, toutes choses égales d'ailleurs, dépend de la longueur du fil qui réunit les deux pôles de la pile. En rendant variable à volonté la longueur de ce fil, on donne donc à l'opérateur un moyen de compenser les accroissements ou diminutions accidentelles d'intensité qui pourront se manifester dans le courant, à la suite d'une addition brusque de réactif acide ou par l'effet de la consommation lente de ce réactif. C'est dans ce but que Wheatstone a imaginé le rhéostat représenté fig. 1 et composé de deux cylindres parallèles A et B, l'un en bois, l'autre en laiton, sur lesquels le fil conjonctif est enroulé de telle sorte que la longueur totale puisse être considérée comme réduite à sa portion enroulée sur le cylindre de bois. En faisant tourner l'un ou l'autre cylindre de manière à y enrouler le fil, on le déroule en même temps de l'autre cylindre. Ainsi, si l'on veut augmenter la longueur du circuit, on fait tourner le cylindre de bois; dans le cas contraire, on agit sur l'autre cylindre.

Pour réaliser cette condition que la portion du fil conjonctif enroulée sur le cylindre de bois puisse être considérée comme formant toute la longueur du circuit, il suffit que le fil soit directement en contact avec le cylindre de laiton qui, dès lors, fera partie du circuit. A cet effet, on n'isole plus le fil en l'entourant de soie; mais, pour que les spires enroulées sur le cylindre de bois ne communiquent pas entre elles, il est, dès lors, nécessaire de les séparer les unes des autres. On a, pour cela, tracé on croix, sur le cylindre de bois, une rainure hélicoïdale.

Un commutateur à manivelle O permet de mettre en court circuit, à un moment donné, les appareils

ou les fils aboutissant aux bornes *m* et *n*. Le rhéostat pourvu de ce commutateur prend le nom de rhéostat à pont et peut servir à la mesure des résistances. Pour vérifier la constance de l'énergie du courant, on le fait agir sur une AIGUILLE AIMANTÉE dont la déviation doit rester la même.

Rhéostat de sir W. Thomson. — Sir William Thomson a perfectionné le rhéostat de Wheatstone : il a remplacé le cylindre isolant cannelé B par un cylindre uni; au-dessus des deux cylindres A et B il a installé une vis qui, lorsqu'on la fait tourner, conduit à la fois les deux cylindres du rhéostat et fait avancer un écrou qui guide le fil constituant la résistance électrique, de façon à l'enrouler en spires régulières et également distantes les unes des autres.

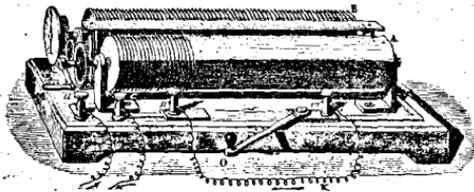


Fig. 1. — Rhéostat de Wheatstone avec deux cylindres.

ce que la déviation de l'aiguille soit la même que pour le fil essayé. Soit l la longueur du fil unité; appelons, en outre, c' et s' sa conductibilité et sa section. Les deux fils produisant sur l'aiguille aimantée les mêmes effets, on a :

$$\frac{l}{c} = \frac{l'}{c'}, \text{ d'où l'on tire la valeur de } \frac{c}{c'}.$$

Pour faire la mesure dont il vient d'être question il suffit de prouder un rhéostat fort simple permettant d'augmenter ou de diminuer la longueur du fil auquel on rapporte les autres. Jacobi se servait de l'instrument représenté fig. 2.

Dans les sillons d'une vis en bois est enroulé un

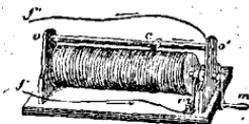


Fig. 2.

fil métallique bien homogène et très fin, dont la conductibilité doit servir de terme de comparaison pour la mesure des conductibilités des autres métaux. On place ce fil ainsi enroulé dans le courant d'un rhéostat. Le courant arrive en f , puis au ressort r , puis à une virole située à l'extrémité de la vis. De là il pénètre dans le fil enroulé. Mais une règle oo' est munie d'un curseur c qui, au moyen d'un petit ressort, presse sur un point du fil dans la rainure et détourne le courant en ce point. Le courant passe alors sur le curseur et de là dans le fil f' , par lequel il retourne à sa source.

La vis peut tourner au moyen d'une manivelle m .

Une règle divisée, placée parallèlement à la vis, permet de savoir exactement le nombre de tours et fraction de tour que fait le fil sur le cylindre isolant et par suite de connaître sa longueur.

Emploi du rhéostat pour la mesure de la conductibilité. — Pour mesurer la conductibilité de fils métalliques, on commence par choisir le métal dont la conductibilité sera adoptée comme unité. On prend ensuite un fil du métal dont on veut constater la conductibilité. Soient c , l , s la conductibilité, la longueur et la section du fil essayé; on introduit le fil dans le circuit d'un GALVANOMÈTRE et l'on observe la déviation qui en résulte pour l'aiguille aimantée. On place ensuite dans le même circuit le fil d'épreuve ou fil unité, et l'on en fait varier la longueur jusqu'à

Quand elle tourne, le curseur glisse sur la règle comme un écrou, se rapproche ou s'éloigne suivant le sens dans lequel la manivelle est mise en mouvement.

Lors donc que la déviation de l'aiguille du rhéostat est la même, soit avec le fil essayé, soit avec le fil du rhéostat, on mesure sur ce dernier appareil la longueur totale du fil, comptée depuis la virole jusqu'au curseur. C'est cette longueur l' qu'on introduit dans la formule que nous avons rappelée plus haut.

Rhéostat à charbon de M. Edison. — Ce rhéostat est fondé sur la variation de résistance qu'éprouve le charbon en poudre lorsqu'on le comprime. M. Clérec avait construit un rhéostat de ce genre, en 1865, en comprimant de la plombagine dans un tube au moyen d'une tige à piston. M. Edison a obtenu des variations de résistance plus grandes en substituant du graphite en couches. Il enduit de graphite des disques d'étoffe de soie et les introduit dans un cylindre de gutta-percha, fermé d'un côté par une plaque de laiton et de l'autre par une plaque métallique manœuvrée par une vis micrométrique; cette vis est munie d'une aiguille qui, en se déplaçant devant un cadran, indique la pression exercée sur les disques. On peut faire varier la résistance du circuit de 400 à 6 000 ohms.

Rhéostat à charbon de M. Engelmann. — Un autre rhéostat à charbon, construit par M. le Dr Engelmann, se compose de dix plaques formées de graphite et de gélatine, ayant 0,01 de diamètre et 0,002 d'épaisseur, contenues dans un cylindre creux d'ébonite poli à l'intérieur et à l'extérieur. Ce cylindre, qui a 0,015 de longueur, porte à ses extrémités des couvercles en laiton munis de bornes placées latéralement. L'un de ces couvercles est traversé au centre par une vis qui permet de presser fortement les unes sur les autres les plaques

de charbon. Ces plaques, qui sont très élastiques, peuvent donner une résistance quelconque. Ainsi avec dix d'entre elles on obtient une variation de résistance continue jusqu'à 20.000 ohms; en augmentant la proportion de gélatine on pourrait étendre les variations de quelques centaines d'ohms à plusieurs milliers d'ohms.

Ce rhéostat, qui a des dimensions très restreintes, peut servir, d'après M. Engelmann, dans l'éclairage électrique pour faire varier l'intensité lumineuse des lampes à incandescence, aussi simplement que l'on fait varier la puissance lumineuse d'un bec de gaz en tournant le robinet de ce bec. Il peut également rendre des services dans l'électrothérapie.

Rhéostat avec commutateur pour montage de foyers lumineux. — Lorsque des RÉGULATEURS à arc

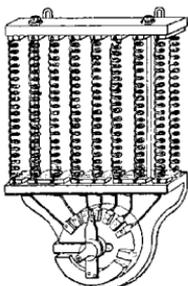


Fig. 2.
Rhéostat avec commutateur pour éclairage électrique.

volts sont placés chacun sur un circuit spécial ou tous en dérivation, la formation de l'arc et son

réglage absorbent une certaine partie de la chute de potentiel aux bornes de la dynamo; le reste doit être absorbé par le circuit; mais si le conducteur n'est pas assez résistant, il faut intercaler dans le circuit un rhéostat, qui est généralement formé d'un fil de maillechort roulé en spirale, ou simplement de bagues longues et minces en charbon aggloméré. Ces rhéostats, dont la fig. 3 donne un exemple, doivent être disposés de façon qu'on puisse faire varier leur résistance, à l'aide de chevilles mobiles analogues à celles des boîtes de résistances ou à l'aide d'un commutateur à manivelle et à touches multiples.

Rhéostat régulateur de M. Cance. — M. Cance a appliqué le principe du rhéostat à la régulation du courant dans des lampes à arc alimentées par une seule MACHINE et placées toutes en dérivation. Chaque circuit de lampe est muni de son rhéostat, dont la fonction est de ramener ce circuit à une résistance équivalente à chacune des autres, de telle façon que l'intensité est la même dans tous les circuits. L'appareil, représenté fig. 4, est une modification du rhéostat de Wheatstone. Il se compose essentiellement d'un fil de maillechort placé sur chaque circuit. Le fil est enroulé sur un cylindre de fonte émaillé de façon à former une hélice de pas régulier. Afin d'éviter que les spires en s'échauffant ne se déforment et ne viennent au contact les unes des autres, ce qui dégrèlerait la résistance, on interpose, entre le cylindre émaillé et le fil, de petites bandes d'amiante. Parallèlement aux génératrices du cylindre est placée une tige en cuivre de section rectangulaire sur laquelle glisse un curseur portant un pignon dont les dents ont un pas égal à celui de la spirale d'enroulement sur le cylindre. Quand on déplace ce pignon, il roule sur une surface méplate ménagée sur le cylindre et ses dents viennent successivement en contact avec toutes les spires de la résistance, et cela sans interruption de courant, puisqu'il y a toujours deux dents du pignon en contact avec l'hélice.

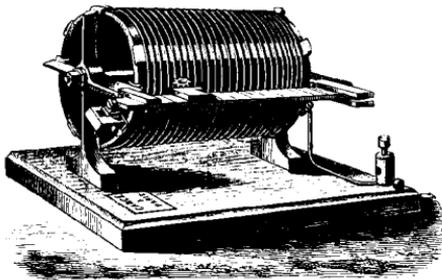


Fig. 4. — Rhéostat régulateur de M. Cance.

Le pignon est en relation avec le fil de circuit par la tige qui lui sert de guide; on peut donc en le déplaçant faire varier, même en marche, la résistance régulatrice dans le circuit.

Rhéostat régulateur de M. Gramme. — M. Gramme a imaginé pour le réglage du circuit extérieur des machines dynamiques un rhéostat en fil de MAILLECHORT

fractionné en certain nombre de sections communiquant respectivement avec une série d'angles contenant du mercure. Un solénoïde intercalé dans le circuit soulève ou laisse descendre une ARMATURE portant une série de tiges d'inégale longueur, situées au-dessus des angles.

L'action du solénoïde consiste à introduire dans le circuit ou à en retirer un nombre plus ou moins

grand de résistances, ce nombre variant en raison inverse du travail à produire. Ce rhéostat fonctionne automatiquement.

Rhéostats à liquide. — On a souvent employé ou proposé d'employer comme régulateur de courant des rhéostats à liquide. M. Bailey, électricien de la New Telephone Co., a combiné un appareil de ce genre qui paraît pratique. Il se compose simplement d'un vase rempli d'eau jusqu'à moitié de sa hauteur; dans l'eau plongent des plaques de charbon que l'on peut enfoncer plus ou moins à l'aide d'un pignon et d'une crémaillère. Ces charbons, taillés en pointe à leur extrémité inférieure, peuvent être munis de petites éponges. On fait ainsi varier la résistance depuis 2.000.000 d'ohms (quand les extrémités des éponges seulement sont immergées) jusqu'à 20 ohms (quand les électrodes plongent complètement). Ces électrodes sont réunies à l'aide de fils rigides aux bornes placées

sur le support central isolé et mobile avec lui. électrodes sont faites avec du charbon parfait neutralisé afin de n'avoir qu'une force électromotrice constante due seulement à la décomposition de l'

Rhéostats médicaux. — Les rhéostats employés dans les appareils médicaux doivent portatifs et offrir une résistance considérable afin pouvoir faire varier dans de grandes limites l'intensité des courants. On arrive à ce but en constituant les résistances par des fils de maillechort très fins. Le rhéostat médical à division décimale construit M. Gaiffe comporte 44.110 unités de résistance; il est forme d'une boîte de résistance de forme parallélépipédique (fig. 5). Les fils conducteurs f' et f'' s'attachent aux bornes S et S'. Pour supprimer une résistance dont la valeur est inscrite sur la boîte suffit de desserrer la vis qui se trouve en regard. Quand l'appareil doit être employé à poste fixe, p

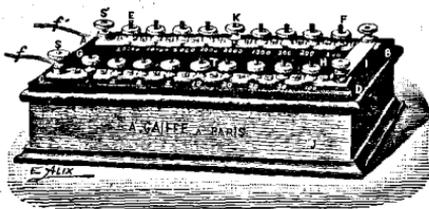


Fig. 5. — Rhéostat médical de M. Gaiffe.

régler simplement l'intensité des courants continus, on peut remplacer économiquement la boîte de résistances par un rhéostat à liquide. Le Dr Tripier a disposé pour cet usage un instrument peu volumineux qui se manœuvre par une vis de rappel et dont les résistances varient entre 40 et 150.000 ohms.

RHÉOSTATIQUE (Machine). — V. MACHINE RHÉOSTATIQUE.

RHÉOTOME (du grec *rheô*, je coule; *tomos*, section). — Synonyme d'INTERROMPTEUR de courant.

RHÉOTOME ou Phonographe à jet de Bell. — En observant par hasard que les pulsations d'un jet d'air dirigé contre une flamme faisaient rendre à celle-ci un son musical, le professeur G. Bell a été amené à faire des recherches sur une nouvelle manière de reproduire et d'enregistrer la parole. M. Bell a remarqué que la hauteur du son dépend seulement de la rapidité des pulsations, mais que son intensité augmente rapidement avec la distance entre la flamme et l'ouverture du jet jusqu'à une largeur maximum, à partir de laquelle les sons deviennent confus et indistincts.

Voici comment furent disposées les premières expériences: on soufflait de l'air contre la flamme par un petit trou pratiqué dans la membrane d'un TÉLÉPHONE ordinaire dont la chambre, en arrière de cette membrane, était en communication avec un réservoir d'air sous faible pression. On faisait vibrer la membrane en mettant le téléphone en relation avec une et l'on observait que la flamme reproduisait non seulement des sons musicaux, mais même la parole, c'est-à-dire les sons articulés.

On constata aussi que les sons produits ne dépendent pas des variations de pression, mais des vibrations imprimées au jet; enfin, on fit des expériences sur des jets et des nappes liquides et sur différentes manières de recueillir leurs vibrations.

Sans nous arrêter davantage à ces expériences nous donnons sommairement les principes de l'appareil définitif imaginé par M. Bell.

Les jets ou nappes sensibles dont nous venons de parler servent à modifier un faisceau lumineux qui les traverse. Ce faisceau lumineux, constamment variable, est projeté sur une plaque photographique qu'on fait tourner en face d'une fente mince donnant passage aux rayons de lumière; en outre, le centre de rotation de la plaque est déplacé parallèlement à lui-même au moyen d'une vis, de sorte que le faisceau lumineux décrit sur la plaque une spirale continue. Le tracé photographique obtenu par un rayon lumineux ainsi modifié présente une épaisseur variable (au point de vue de l'argent réduit lors du développement de la plaque) correspondant aux vibrations du jet qui modifient l'intensité du faisceau de lumière.

Si l'on interpose alors cette plaque dans un circuit microphonique après l'avoir placée sur l'appareil rotatif qui a servi à obtenir le tracé, et si on la fait tourner, l'épaisseur variable du tracé impressionné fait varier la pression des charbons du microphone et les sons originaux sont reproduits par le téléphone.

RHÉOTROPE (du grec *rheô*, je coule; *trôpô*, je tourne). — Nom donné par M. Masson à un INTERROMPTEUR circulaire appelé aussi Roue de Masson.

Richmann (Georges-Guillaume), physicien suédois, né à Pernau en 1711, mort à Saint-Peters-

l'usage en 1753. Il donna d'abord des leçons particulières, puis fut adjoint, en 1735, à l'Académie des Sciences de Saint-Petersbourg, et professa à l'université, à partir de 1741, les sciences naturelles, particulièrement la physique. Richmann s'occupa beaucoup d'électricité et inventa un instrument auquel il donna le nom d'*inducteur électrique*. Ayant voulu l'expérimenter pendant un orage, il fut foudroyé. On a de lui vingt-deux Mémoires, publiés dans le *Recueil de l'Académie de Saint-Petersbourg*.

Riess (Pierre-Théophile), professeur à l'université de Berlin, né dans cette ville le 27 juin 1805, mort le 22 octobre 1883. Il a publié dans les *Annales de Poggendorff*, de 1829 à 1860, un grand nombre de mémoires, et en 1853 son ouvrage *Die Lehre der Reibungs-Elektricität*, suivi de *Abhandlungen zu der Reibungs-Elektricität und elektrischen Maschinen*. Il s'est notamment occupé de la loi de Coulomb, de la déperdition électrique, de la distribution de l'électricité, du condensateur à lame d'air, des décharges électriques, du rapport des conductibilités électrique et calorifique, etc.

Ritchie (William), professeur écossais, mort le 15 septembre 1837 à Portobello, près d'Edimbourg; inventeur du premier appareil de ROTATION ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE. Ses travaux sur ce sujet et sur le MAGNÉTISME RÉMANENT ont paru dans le *Philosophical Magazine* (1830) et les *Philosophical Transactions* (1833).

Ritter (Jean-Guillaume), physicien allemand, né à Samitz (Silésie) en 1776, mort à Munich en 1810. Il s'est surtout fait connaître par des expériences ingénieuses sur le GALVANISME. Le premier, il soupçonna la nature magnétique de l'électricité de la PILE et suggéra à Oersted l'idée de sa théorie. Le zèle dont il était animé pour la science lui faisait dire souvent qu'il consentirait à perdre un œil, une oreille, la moitié du nez ou de la langue, si cela pouvait contribuer à étendre le champ des découvertes. Ce savant donna dans d'étranges aberrations : il essaya d'employer la baguette divinatoire pour la découverte des sources et des filons métalliques; il adopta même les rêveries du *sidérisme*, force occulte à laquelle on attribuait tous les phénomènes de la nature. Ses jours furent abrégés par l'abus des liqueurs fortes, dans lesquelles il cherchait l'oubli de chagrins domestiques et un excitant pour son imagination déjà trop exaltée. Il était membre de l'Académie des Sciences de Munich. On lui doit, entre autres ouvrages : *Preuve que l'action de la vie est toujours accompagnée de galvanisme* (1798, in-8°); *Contributions à la connaissance plus particulière du galvanisme* (1801, 2 vol. in-8°); *Mémoires physico-chimiques* (1806, 3 vol. in-8°); *Fragments tirés de la succession d'un jeune physicien* (Heidelberg, 1810, 2 vol. in-8°), autobiographie.

Rive (Auguste-Arthur de La), physicien suisse, né à Genève en 1801, mort à Marseille, pendant un voyage, le 29 novembre 1873. Nommé, jeune encore, professeur de physique à l'Académie de Genève, il quitta, en 1830, sa ville natale agitée par des troubles politiques, vint d'abord à Paris, où il fut élu membre correspondant de l'Institut, se rendit ensuite à Londres, où il partagea les travaux de la Société royale, qui l'admit dans son sein, et rentra dans sa patrie, en 1836, pour y diriger la *Bibliothèque universelle de Genève*, dont la partie littéraire est, aujourd'hui encore, rédigée par un de ses fils. De La Rive, dé-

coré de plusieurs ordres étrangers, faisait partie des principales Académies de l'Europe.

Dès 1822, ayant à peine vingt et un ans, il faisait insérer un premier mémoire dans les *Annales de chimie et de physique*; et, depuis, il ne s'est guère passé d'années sans que les principales publications de France ou de Suisse aient eu à enregistrer quelques dissertations du savant genevois, roulant principalement sur la chaleur ou sur l'électricité. Avec de Candolle, il expérimenta la conductibilité du bois pour la chaleur; avec Mariet, il fit sur les capacités calorifiques des gaz des expériences qui sont restées classiques. Les premiers essais de ponoms MALVAGOU, qui datent de 1823, sont dus à de La Rive. Il découvrit que les lames de platine qui ont servi d'ÉLECTRODES dans une PILE possèdent la propriété de donner un COURANT après qu'elles ont été réunies par un fil. Il découvrit le principe de la BOUSSELOE des sinus. Le premier, il trouva la relation qui permet de comparer la CONDUCTIBILITÉ d'un fil pour l'électricité avec sa température pendant le passage du FLUIDE. Au moyen d'une multitude d'expériences, poursuivies avec une persévérance rare et conduites avec une admirable sagacité, il concourut peut-être plus qu'aucun autre physicien, à fonder la théorie électro-chimique de la pile. On lui doit des études sur le DIAMAGNÉTISME, sur les AUBRES BORALES, sur les actions calorifiques du courant et sur une foule d'autres questions. Il a publié un *Traité d'électricité théorique et pratique* (1854-1858), traduit dans différentes langues, et des *Mémoires* dans les *Archives de l'Électricité*, dans les *Annales de physique et de chimie*, dans les *Mémoires de physique de la Société de Genève*, dans la *Bibliothèque universelle de Genève* et dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.

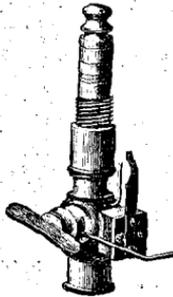
RIVURE ÉLECTRIQUE. — Un ingénieur de Glasgow, M. Rowan, a imaginé une machine à river actionnée par un moteur électrique d'un demi-cheval. On peut frapper de 50 à 60 coups de marteau par minute; la force du coup est de 25 kilogrammètres. La machine qui est employée à river des pièces de navire est maintenue en place, sur le côté du navire, par de puissants ÉLECTRO-AMANTS. (V. MACHINE-OUTIL MAGNÉTO-ÉLECTRIQUE.)

ROBINET ÉLECTRIQUE. — Nom donné par M. Cabanellas à l'ensemble de deux machines dynamo-électriques calées sur le même axe et entièrement libres. Si l'une est parcourue par un courant, elle tourne et fait développer par la deuxième un courant dont l'intensité sera toujours proportionnelle à celle du courant qui traverse la première machine. Mais le rapport de ces intensités pourra varier autant que l'on voudra, à la condition que l'on enroule sur les deux machines des conducteurs de grosseurs convenables. M. Cabanellas a désigné l'ensemble des deux machines sous le nom de *Robinet électrique*, par analogie avec les robinets hydrauliques. En effet, en considérant un courant primaire constant, on peut s'arranger de façon à obtenir un courant secondaire, également constant, d'une intensité variable à volonté, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, et remplissant, par conséquent, le même rôle que les robinets hydrauliques branchés sur une conduite mère. (V. DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ ET TRANSFORMATEURS A COURANTS CONTINUS.)

ROBINET ALLUME-GAZ ÉLECTRIQUE. — Cet appareil, qui a valu à M. Née une médaille d'argent à l'Exposition du travail en 1885, permet d'allumer un

bec de gaz en ouvrant simplement le robinet de ce bec. La clef du robinet porte une petite tige de cuivre en forme de crochet. La boussole du robinet présente sur le côté un petit carré de matière isolante servant de support à une lame d'acier très mince. Cette lame, faisant ressort, est rencontrée à chaque mouvement d'ouverture du robinet par le crochet en cuivre fixé sur la clef. Un tube capillaire, soudé sur la boussole du robinet, comme le montre la figure ci-dessous, donne issue à un petit jet de gaz au moment où le crochet, abandonnant le ressort flexible, produit une ÉTINCELLE d'extra-courant. Le jet s'allume, monte et enflamme le gaz qui sort du bec. Le tube capillaire est fermé lorsque le robinet est complètement ouvert; la disposition du crochet de cuivre permet de dépasser la position verticale de la clef correspondant à l'ouverture complète du robinet et de régler la flamme jusqu'à l'état de veilleuse.

On relie le côté négatif d'une PILE, formée de trois couples Leclanché, à la conduite du gaz; l'électrode



Robinet allume-gaz électrique de M. Néé.

positive traverse un ÉLECTRO-AIMANT qui permet d'obtenir des étincelles d'EXTRA-COURANT très nourries, puis elle va, en se continuant d'un bec de gaz à l'autre, aboutir à une petite vis fixée sur le ressort en acier de chaque robinet.

MM. Woodhouse et Rawson, de Londres, construisent aussi des robinets allume-gaz électriques pour becs de gaz, analogues aux précédents, mais dans lesquels l'allumage est produit par une étincelle que fournit une petite bobine d'INDUCTION. Les organes nécessaires à cette opération sont placés sur chaque bec, et disposés de telle sorte que l'on obtient en même temps, par un seul mouvement, l'ouverture du bec et son allumage.

Roget (Pierre-Marie), physicien anglais, né vers 1775, mort en 1859. Il fut reçu, en 1798, docteur en médecine à Edimbourg, exerça plusieurs années la pratique de son art à Manchester, où il fut nommé médecin de l'asile d'aliénés et de l'hôpital des Névroses, et vint plus tard à Londres, où il devint membre, puis secrétaire de la Société royale, membre du sénat de l'université de Londres et professeur de physiologie à l'Institution royale de la Grande-Bretagne. On a de lui les ouvrages suivants : *Physiologie animale et végétale*, dans la collection des *Traité de Bridgewater* (1834); des traités sur l'*Électricité* et le *Magnétisme*, qui font partie de la « Bibliothèque des connaissances utiles »; un *Traité de physiologie et de phrénologie* (1838); enfin un *Thesaurus*

de mots et de phrases anglaises qui, depuis 1852, a obtenu dix-huit éditions. Il a, en outre, collaboré à l'*Encyclopædia britannica*, à l'*Encyclopædie de médecine pratique*, et a fourni de nombreux mémoires aux *Transactions* de la Société médico-chirurgicale, de la Société royale, etc.

Romalds (sir Francis), physicien anglais, né à Londres le 21 février 1878, mort le 8 août 1873. De 1814 à 1816, il publia diverses études sur l'électricité dans le *Philosophical Magazine*. Sa véritable renommée date de 1816, époque à laquelle il installa le premier télégraphe électrique à Hammesmith. Romalds présenta son invention au gouvernement; mais celui-ci refusa de l'appliquer, trouvant suffisantes les méthodes télégraphiques en usage (au télégraphe de Portsmouth, à Londres, système de Chappe). Romalds a prévu la révolution que ferait dans le monde son invention, et dès cette époque il se rendait compte du retard que subirait le courant dans les LIGNES SOUS-MARINES.

Le savant Cooke a réclamé plus tard la priorité dans l'invention du télégraphe, et le premier, en effet, il a pris un brevet; tandis que l'invention de Romalds, non appuyée par les pouvoirs publics, n'est pas sortie du domaine privé. Ce savant n'en est pas moins le véritable inventeur de la transmission des idées à distance par l'électricité et, en 1870, enfin, un éclatant témoignage lui a été rendu à ce propos.

Nommé, en 1843, directeur du Kew Observatory, il fit, durant les neuf années qu'il conserva ces fonctions, de nombreux rapports à l'Association britannique, et il inventa divers instruments scientifiques (ÉLECTROMÈTRES), des appareils météorologiques et électriques auto-enregistreurs, etc. Romalds a obtenu du gouvernement anglais une importante récompense pécuniaire pour ses beaux travaux. Tous ses appareils ont été appliqués dans les observatoires de l'étranger et de sa patrie, et les modèles originaux en sont conservés au South Kensington Museum. Il était membre de la plupart des sociétés savantes de la Grande-Bretagne et de l'étranger.

Romas (Jacques de), physicien français, né à Nérac en 1713, mort dans la même ville en 1776. Son père, avocat au parlement, le destina à la magistrature et le fit nommer, en 1738, lieutenant assesseur au présidial de Nérac. Tout en remplissant ces fonctions, de Romas s'adonna avec passion à son goût pour les sciences, particulièrement pour la mécanique et la physique, et devint membre correspondant de l'Académie de Bordeaux. Ayant vu la roue tomber sur le château de Tampouy, en 1750, il se livra avec ardeur à des études sur les phénomènes électriques et inventa, pour détonner la poudre, un instrument qui fut appelé *brontomètre*. Ce fut lui qui, le premier, eut l'idée de lancer dans l'air, pendant un orage, un cerf-volant électrique, retenu à terre par un fil, dans le but d'attirer le fluide (1752). De Romas expérimenta son appareil l'année suivante, et cette expérience « démontra, dit M. J. Serret, d'une manière frappante l'action des pointes métalliques en contact avec l'atmosphère et leur pouvoir de dégager le fluide électrique aérien en le conduisant sans danger sur le sol ». Un mémoire qu'il écrivit sur ce sujet lui valut d'être nommé membre correspondant de l'Académie des Sciences de Paris. C'est donc à tort qu'on a attribué à Franklin l'idée du cerf-volant électrique. On a de de Romas : *Mémoires sur les moyens de se garantir de la foudre dans les maisons*, suivi d'une *Lettre sur l'invention du cerf-volant électrique* (1776, in-12); *Mémoire où, après avoir donné un*

moyen aisé pour élever fort haut et à peu de frais un corps électrisable isolé, on rapporte des observations frappantes qui prouvent que, plus le corps isolé est élevé au-dessus de la terre, plus le feu de l'électricité est abondant, inséré dans le Recueil de l'Académie des Sciences (1753), et un assez grand nombre de Mémoires, de Dissertations, etc., restés manuscrits.

RONDE (Contrôleur électrique de). — Appareil enregistrant l'indication de l'heure à laquelle un agent désigné est passé dans des locaux déterminés pour y faire des rondes de surveillance. (V. CONTRÔLEUR.)

ROTATION ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE. — Phénomène résultant de l'action réciproque des aimants et des courants. Les lignes de force d'un champ magnétique possèdent les propriétés suivantes, d'après Faraday : 1^o les lignes de force tendent à se raccourcir ; 2^o des lignes de force de même sens, placées côte à côte, se repoussent. L'aspect d'un champ magnétique quelconque, tel qu'on peut l'obtenir sur une feuille de carton à l'aide de la lamelle de fer, peut très aisément se prévoir avec le secours de ces deux définitions. La première conduit à se figurer une ligne de force comme un fil élastique dont les points fixes sont ceux où elle pénètre dans la masse de l'aimant. Si cette ligne vient à subir, par une cause

extérieure, un allongement, ses points d'attache tendent à se déplacer jusqu'à ramener la ligne de force au minimum de longueur que comportent les conditions générales du système.

La fig. ci-dessus donne l'exemple de l'action d'un champ magnétique sur un courant; N et S représentent les deux pôles de l'aimant placés au-dessous d'un fil métallique f perpendiculaire au plan de la figure et faisant partie d'un circuit fermé. Le courant qui traverse ce conducteur, d'arrière en avant, détermine un champ magnétique dont les lignes de force sont, en projection, des circonférences concentriques au fil. Les champs magnétiques de l'aimant et du courant réagissent l'un sur l'autre et leurs lignes de force se distillent de telle façon que leur tendance répulsive fasse équilibre à leur tendance à se raccourcir. En regardant le EXTRÊME MÉAGRIÈRE on comprend facilement quel sera le mouvement relatif de l'aimant et du conducteur. Les lignes de force qui contiennent ce dernier agissent de façon à le diriger vers le bas de la figure. Si le courant était, au contraire, dirigé d'avant en arrière, le conducteur serait sollicité à se déplacer en sens inverse.

Le principe de cette expérience n'est autre que celui de la roue de Barlow (v. BARLOW) et du disque tournant de Faraday. (Gordon, *Traité expérimental d'électricité*, annoté par Raynaud.)

ROTATION MAGNÉTIQUE DE LA LUMIÈRE. — On désigne sous ce nom la déviation que fait éprouver au plan de polarisation d'un rayon de lumière polarisée l'action des LIGNES DE FORCE d'un CHAMP

MAGNÉTIQUE que traverse ce rayon. La déviation a lieu dans un sens ou dans l'autre suivant la direction respective du rayon lumineux par rapport à celle des lignes de force. (V. POLARISATION DE LA LUMIÈRE [Rotation magnétique du plan de].)

ROTATION DU PLAN DE POLARISATION de la lumière réfléchi sur le pôle d'un aimant. — « Le Dr Kerr a trouvé (1877) que, lorsque la lumière polarisée est réfléchi régulièrement sur l'un des pôles d'un ÉLECTRO-AIMANT de fer, le plan de polarisation tourne d'un angle sensible en sens inverse de la direction normale du courant qui produit l'aimantation; en sorte que le pôle réellement sud (celui qui se dirige vers le nord) d'un AIMANT de fer poli, agissant comme réflecteur, fait tourner à droite le plan de polarisation. » (*Phil. Mag.*, mai, 1877.)

« Le plan de polarisation de la lumière tourne aussi quand on la réfléchit sur le côté d'un aimant. » (*Phil. Mag.*, 1878.)

ROUE CORRECTRICE. — Organe de l'appareil télégraphique de Hughes destiné à corriger à chaque émission de courant le synchronisme du mouvement des deux roues des types des appareils en communication.

ROUE DE BARLOW. — Appareil servant à démontrer l'action des AIMANTS sur les courants. (V. BARLOW [Roue de].)

ROUE DE MASSON. — Appareil destiné à produire dans un circuit des alternatives rapides de rupture et de fermeture. (V. INTERRUPTEUR, *Interrupteur ou Rhéotrope de Masson.*)

ROUE DE NEEF. — Roue munie de dents et servant d'INTERRUPTEUR. Cet appareil est ainsi appelé du nom de son inventeur.

ROUE DES TYPES. — Roue qui, dans un appareil télégraphique imprimeur, porte sur son pourtour des caractères ou types en relief sur lesquels le papier vient s'appuyer afin de recevoir l'impression des lettres de la dépêche transmise.

ROUE ÉLECTRIQUE MUSICALE. — Disque en tôle de fer percé circulairement de deux rangées de trous de 6 millimètres de diamètre (la première rangée contenant un nombre de trous double de celui de la deuxième rangée), et monté sur un axe. Si l'on dispose d'un côté de cette roue et près des trous un AIMANT en fer à cheval, et de l'autre côté deux bobines correspondant aux pôles de l'aimant et dont l'une ou l'autre est en relation avec un TÉLÉPHONE, puis si l'on met la roue en mouvement, on perçoit dans le téléphone un son musical dont l'intensité augmente avec la vitesse de rotation. (Expérience faite par le professeur H.-S. Carhart, en 1883.)

ROUE PHONIQUE de M. Paul Lacour. — Sorte d'ÉLECTROMOTEUR à mouvement de rotation direct employé dans certains instruments de précision comme régulateur, et notamment dans le télégraphe multiple de M. Delany (v. TÉLÉGRAPHE) pour assurer le synchronisme des appareils en correspondance. Réduit à sa plus simple expression, cet appareil se compose d'une roue dentée en fer deux fois autour de son axe et devant laquelle est fixé un ÉLECTRO-AIMANT droit dont l'un des pôles, animé à son extrémité, peut réagir sur les dents de cette roue sans les toucher et à la manière des électromoteurs à mouvements directs. Si à travers l'électro-aimant on fait passer une série

de courants également espacés, envoyés par un ÉLECTRO-DIAPHON le résultat de sa réaction sur les dents de la roue une série d'effets attractifs qui entretiendront le premier mouvement communiqué à cette roue et qui rendront même ce mouvement uniforme quand la vitesse sera telle que la roue parcourra pour chaque période de courant un chemin égal à la distance existant entre deux dents consécutives. Le dessin de cet appareil est donné à l'article TÉLÉGRAPHIE.

Ruhmkorff (Henri), célèbre constructeur d'instruments de physique, né à Hanovre le 15 juin 1803, mort à Paris en décembre 1877. Il se rendit à Paris et travailla chez les fabricants d'instruments de précision, entre autres chez M. Chevalier, et, comme il était doué de grandes dispositions pour la mécanique, il devint en peu de temps un ouvrier d'une rare habileté. Ayant réuni quelques argent, Ruhmkorff fonda à Paris une maison qui ne tarda pas à prospérer. Il construisit particulièrement des instruments électro-magnétiques, des GALVANOMÈTRES, des appareils d'INDUCTION, etc., exécutés avec une perfection qui lui gagna tous les suffrages. En 1851, il imagina de produire des courants d'induction dans une bobine de grande dimension et à deux fils, et cette belle invention, féconde en résultats pratiques, le rendit bientôt célèbre. Ses produits envoyés à l'Exposition universelle de 1855 lui valurent, outre une médaille de première classe, la croix de la Légion d'honneur. Lors du concours qui fut ouvert, en 1858, pour récompenser l'application la plus utile de l'électricité, Ruhmkorff obtint un prix de 50,000 francs, et, au concours de 1864, son appareil d'induction perfectionné lui fit donner le grand prix, qui n'avait pas encore été décerné.

RUHMKORFF (Bobine de). — (V. INDUCTION.)

Ruolz (Henri-Catherine-Camille, comte de Ruolz-Montolal), né dans le département du Rhône le 15 mai 1807, mort à Paris le 6 octobre 1887. Il appartenait à l'une des plus grandes familles du Lyonnais. Entré dans la vie avec une fortune considérable, il consacra sa jeunesse aux études du droit, de la médecine et des sciences, et obtint même le triple grade de docteur dans ces diverses facultés. Il s'adonna ensuite à la musique, devint l'élève de Berton, de Lesueur, de Paër, l'un des disciples préférés de Rossini. Sous les auspices de ce dernier, il fit représenter en 1835, au théâtre de San-Carlo de Naples,

un grand opéra, *Lara*, dont le succès détermina l'engagement à Paris du ténor Duprez. En 1839 il donna à l'Opéra de Paris un grand ouvrage en cinq actes, la *Vendetta*, dont Duprez fut encore le principal interprète et dont le succès fut assez grand pour qu'on le conservât au répertoire. De Ruolz fit encore représenter plusieurs autres ouvrages. C'était un excellent musicien, doublé d'un savant de premier ordre. C'est en effet à ce dernier titre qu'il a acquis une véritable célébrité. A la suite de revers de fortune, il se lança dans la voie des recherches chimiques et physiques. Ses Inventiones se succédèrent sans interruption depuis 1840 jusqu'en 1870. C'est en 1840 que le comte de Ruolz fit connaître et breveter son procédé d'argenterie électro-chimique, plus rapide, moins cher que le procédé employé jusqu'alors, et qui permettait de fabriquer non seulement des couverts de table, des ustensiles de ménage aussi coquets et d'un prix bien moins élevé que l'argent, mais de reproduire tous les chefs-d'œuvre de l'orfèvrerie que l'argenterie plaquée, autrefois seule en usage, rendait fort coûteux. En même temps que Ruolz, les frères Elkington, de Birmingham, aboutissaient à un résultat analogue et se faisaient également breveter en Angleterre (V. ARGENTERIE GALVANIQUE). On peut donc dire que la découverte de Ruolz, dont le nom est devenu un substantif usuel, a eu pour conséquence de répandre le confortable à bon marché et de vulgariser un grand nombre d'œuvres d'art. Les fabricants mettent à présent sur les produits argentés qu'ils livrent au commerce des étiquettes plus ou moins pompeuses : *simili-argent*, *métal blanc*, *alumine*, etc. : tout cela n'est au fond que le ruolz, auquel on a apporté quelques légères modifications.

L'Académie des Sciences ayant compris l'importance de la découverte de Ruolz lui accorda un prix.

Citons aussi les recherches faites par Ruolz, en collaboration avec son cousin, M. de Fontenay, sur la production de l'acier fondu, premier acheminement des découvertes de Bessemer et de Martin, et sur le métal phosphoré, procédé de durcissement dont on se servit en 1855, au moment des premières transformations de notre matériel d'artillerie, et dont on se sert encore pour les pièces d'outillage où entrent le bronze et la fonte. Le comte de Ruolz, qui pouvait s'enorgueillir d'être l'auteur de nombreuses fortunes produites par l'exploitation de son procédé, s'est éteint à l'âge de quatre-vingts ans ; il est mort presque pauvre et tout à fait oublié.

Sabine (Edouard), physicien et mathématicien anglais, né à Dublin en 1788, mort à Richmond le 26 juin 1852. Entré en 1803 dans l'artillerie anglaise, il fut promu, en 1812, au grade de capitaine et consacra les loisirs que lui laissait le service militaire à l'étude des sciences mathématiques et physiques, et en particulier du magnétisme terrestre, sur lequel la lecture des ouvrages de A. de Humboldt avait attiré son attention. Il se fit connaître dans le monde scientifique par la part qu'il prit au voyage exécuté par Ross et Parry, pendant les années 1818 et 1819, pour la découverte d'un passage au Nord-Ouest, et s'occupa surtout, pendant cette expédition, d'observations sur le magnétisme et sur les oscillations du pendule. Il adressa à ce sujet, en 1819, à la Société royale de Londres un mémoire qui renfermait la constatation d'un grand nombre de faits nouveaux; aussi, en 1822, le gouvernement plaça-t-il sous ses ordres le vaisseau le *Griper*, avec lequel il explora d'abord les côtes de l'Afrique et de l'Amérique, depuis Sierra-Leone et Bahia jusqu'à New-York, et se rendit, l'année suivante, à Hammerfest, au Spitzberg et au Groenland. Les résultats de ses recherches furent consignés dans différents mémoires insérés dans les *Transactions philosophiques*, ainsi que dans son ouvrage intitulé *l'Expédition du pendule* (Londres, 1825). Il exposa plus tard les découvertes qu'il avait faites sur le magnétisme terrestre dans un autre ouvrage qui a pour titre : *Exposé des variations de l'intensité magnétique, observée à différents points de la surface de la terre* (Londres, 1838), et où il a confirmé la « théorie du mouvement des corps célestes » de Gauss, en faisant connaître et en décrivant les résultats des observations d'Erman et de Hansteen pendant les années 1828, 1829 et 1830. Ce fut aussi lui qui provoqua et activa l'établissement, dans les colonies anglaises, d'observatoires météorologiques et magnétiques qui ont rendu les plus grands services à la science et qui étaient placés sous sa direction. Il fut, en outre, chargé par le gouvernement de rédiger le *Journal d'Observations* et fit paraître, soit isolément, soit dans les *Transactions philosophiques*, un grand nombre de mémoires, parmi lesquels il faut citer ses appréciations personnelles des observatoires magnétiques et météorologiques de Toronto (1845), de Sainte-Iléne (1847), d'Ilobart-Town (1850) et de Cape-Town (1851). Il avait trouvé, du reste, un digne collaborateur dans sa femme, qui connaissait parfaitement l'allemand et le français, et avec l'aide de laquelle il traduisit en anglais le *Voyage dans le nord-ouest de la Sibérie* de Wrangel, le *Cosmos* et les *Vues de la nature* de Humboldt (1853), et les *Essais météorologiques* d'Arago (1855). Le dernier ouvrage de cet éminent mathématicien a pour titre : *On the cosmical features of terrestrial magnetism* [Sur les caractères cosmiques du magnétisme terrestre] (Londres, 1852).

Sabine a été promu successivement major (1837),

colonel (1851) et major général (1859). Il était depuis 1818 membre de la Société royale, dont il a été élu président en 1861, et a été l'un des fondateurs de la *Société britannique pour l'avancement de la science*, qu'il a présidée en 1852.

SAINT-ELME (Fou). — (V. FEU SAINT-ELME.)

SATURATION MAGNÉTIQUE.—Un barreau d'acier peut être plus ou moins aimanté. Comme règle, si l'on augmente l'intensité de l'aimant employé pour aimanter un barreau, on augmente l'aimantation de ce barreau. Il existe, cependant, dans tous les barreaux une certaine limite au delà de laquelle il est impossible d'augmenter leur magnétisme permanent, quelle que soit la force magnétique employée : c'est ce qu'on appelle leur **point de saturation**, et les barreaux ainsi aimantés sont dits **aimantés à saturation**.

On peut *sursaturer* un barreau de magnétisme, c'est-à-dire lui donner temporairement une aimantation plus forte que celle qu'il pourra conserver d'une façon permanente. On a trouvé que lorsqu'on éloigne la force magnétique induite de l'aimant ainsi sursaturé son aimantation diminue dans une proportion progressivement décroissante jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur permanente. Elle diminue rapidement pendant les premières heures, puis plus lentement pendant quelques jours, et très lentement pendant des semaines. Aussi les aimants employés dans les recherches où l'intensité d'aimantation doit rester constante pendant la durée de l'expérience doivent-ils être aimantés au moins six mois auparavant.

Saussure (Horace-Bénédict de), célèbre naturaliste et physicien suisse, né à Genève le 17 février 1740, mort dans la même ville le 22 janvier 1799. Il eut tant de succès dans ses études, qu'en 1762 la chaire de philosophie à l'Académie de Genève étant devenue vacante, Saussure l'obtint quoiqu'il n'eût encore que vingt-deux ans, et l'occupa avec distinction pendant vingt-quatre années. Cependant, son attention se porta particulièrement sur la physique, la météorologie, la botanique et la géologie. En 1768, de Saussure alla à Paris, où il suivit les cours de Jussieu. Il visita ensuite la Belgique, la Hollande et l'Angleterre. En 1772, il partit pour l'Italie, visita la Toscane, s'arrêta quelque temps aux mines de fer de l'île d'Elbe et se rendit ensuite à Naples, où Hamilton monta avec lui sur le Vésuve. A Gênes, la vue majestueuse de l'Étna lui inspira le désir d'atteindre à sa plus haute cime, qu'il mesura le 5 juin 1783, et dont il fit la hauteur, au moyen du baromètre, à 3,338 mètres.

De Saussure traversa quinze fois les Alpes, par huit passages différents, et fit plus de seize autres excursions jusqu'au centre de cette chaîne, dont il poursuivait ensuite les ramifications dans toutes les directions. Mais, quoiqu'il eût parcouru le Jura, les

Vogues, les montagnes de l'Allemagne, de la Suisse, de l'Italie, de la Sicile et des îles adjacentes, il n'avait pu encore gravir jusqu'au faite de ce mont Blanc qu'il voyait chaque jour de sa fenêtre de Genève. Dix fois il l'avait en quelque sorte attaqué par toutes les vallées qu'il y aboussièrent; il en avait fait le tour, il l'avait examiné du sommet des montagnes voisines et l'avait toujours trouvé inaccessible, lorsqu'il apprit, le 18 août 1787, que deux habitants de Chamoni, en suivant le chemin le plus direct, celui que divers préjugés avaient fait éviter, venaient de s'élever la veille à cette cime qu'aucun homme n'avait encore atteinte.

Le 21 juillet 1788, de Saussure opéra l'ascension de cette montagne et arriva à la cime vers le milieu de la troisième journée. Il se livra alors avec un grand sang-froid aux expériences qu'il avait projetées, bien que, à cette hauteur de 4.810 mètres, la raréfaction de l'air lui accélérât le pouls comme dans une fièvre ardente et l'épuisât de fatigue au moindre mouvement; bien qu'une soif cruelle l'étranglât à la gorge dans ces régions glacées comme au milieu des sables de l'Afrique et que la neige, en répétant la lumière, éblouit et brûlât le visage. Il confirma, sur la cime du mont Blanc, ce qu'il avait déjà observé dès 1774 en montant le premier au sommet du Cramont, c'est que tous les sommets pyramidaux des monts voisins penchent et s'inclinent vers le mont Blanc.

Quelques jours après avoir escaladé le mont Blanc, il parvint avec son fils aîné sur le col du Géant, élevé de 3.428 mètres, et y campa au milieu de la neige pendant dix-sept jours, pour y faire des observations météorologiques qu'il consignait dans ses *Voyages dans les Alpes*. Il parvint aussi, en 1789, sur la cime la plus élevée du mont Rose.

En 1786, de Saussure se démit de sa chaire de philosophie à Genève. Frappé d'une attaque de paralysie en 1794, il alla prendre les eaux de Plombières sans obtenir une amélioration dans sa santé. Bien qu'il fût dans l'impossibilité de parler en public, le Directoire le nomma, en 1798, après la réunion de Genève à la France, professeur d'histoire naturelle à l'École centrale établie dans cette ville. Président de la Société des arts de Genève, qui s'était formée dans sa maison, vers 1772, de Saussure était membre des Académies de Naples, de Stockholm, de Lyon, de la Société médicale de Paris, etc.

De Saussure a rendu de grands services à la science non seulement par ses travaux, mais encore par les divers instruments utiles et ingénieux qu'il améliora ou dont il fut l'inventeur. Disons d'abord qu'il perfectionna : le thermomètre, pour mesurer la température de l'eau dans toutes les profondeurs; l'anémomètre, pour donner à la fois la direction, la vitesse et la force des courants d'air; l'électromètre, pour connaître l'état du fluide électrique qui influe si puissamment sur les météores aqueux.

Ce fut lui qui inventa l'hygromètre le plus en usage maintenant, celui qui porte son nom et qu'on appelle aussi *hygromètre à cheveux*. Cet hygromètre mérita surtout à Saussure les applaudissements des physiciens et ouvrit à son auteur les horizons de nouvelles découvertes. Par le moyen de cet ingénieux instrument, il calcula la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air convenu, et déterminait les affinités des vapeurs avec les corps qui peuvent s'en charger. De Saussure a fait sur cette importante branche de la météorologie un ouvrage intitulé *Essais sur l'hygrométrie*, que Cuvier proclame l'un des plus beaux ouvrages dont la physique se soit enrichie à la fin du XVIII^e siècle : « Des expériences de Saussure, ajoute-t-il, on vit sortir une science presque nouvelle,

et la météorologie commença à entrevoir des principes raisonnables. »

De Saussure est aussi l'inventeur du *cyanomètre* et du *diaphanomètre*, qui ont pour objet de comparer, le premier, le degré d'intensité de la teinte bleue du ciel sans nuage; le second, les degrés de transparence de l'air aux différentes hauteurs; de l'*adiéthéromètre*, inventé en 1767, et dont Buffon publia ensuite la description. Cet instrument sert, à proprement parler, à emmagasiner la chaleur du soleil, au moyen de caisses de verre s'emboîtant les unes dans les autres, et, par ce moyen, il parvint à élever le thermomètre à 86°. En fin on lui doit encore divers instruments, entre autres celui qui fait découvrir la présence du fer dans les minéraux et qui offre aux minéralogistes les avantages d'une boussole portative, sans en avoir les inconvénients; celui qui sert à comparer la dureté des pierres; etc.

Parmi les ouvrages de ce savant, nous devons nous borner à citer : *Dissertation physica de electricitate* (1766, in-8°); *Exposition abrégée de l'utilité des conducteurs électriques* (1774, in-4°); *Description des effets électriques observés à Naples, dans la maison de milord Tinney* (in-4°); *Essai sur l'hygrométrie* (1783, in-4°); *Défense de l'hygromètre à cheveux* (1788, in-8°). Saussure a publié, en outre, dans les journaux et les mémoires des sociétés savantes dont il était membre, dans le *Journal de physique*, dans le *Journal de Paris*, le *Journal des mines*, la *Bibliothèque britannique*, etc., une foule d'écrits dont plusieurs sont des traités complets, sur la *Constitution physique de l'Italie*, sur l'*Histoire physique du ballon lancé à Lyon le 19 janvier 1784*, sur l'*Usage du chateau en minéralogie*, etc.

Schenbein (Chrétien-Frédéric), chimiste suisse, né à Metzingen en 1799, mort en 1868. Après avoir étudié les sciences naturelles aux universités de Tubingue et d'Erlangen, il professa, de 1823 à 1825, la chimie et la physique à Keilhau, près de Rudolstadt, partit en 1826 pour l'Angleterre, dans le but d'y perfectionner son instruction scientifique et se rendit ensuite à Paris, d'où il fut appelé, en 1828, à l'université de Bâle pour y occuper une chaire. Il obtint plus tard le droit de cité dans cette ville et devint membre du grand conseil et de l'administration municipale. La chimie lui dut un grand nombre de découvertes importantes. Ses premiers travaux eurent pour objet l'étude du fer. En 1839, il découvrit l'ozone. Ses recherches postérieures sur l'ozone et ses hypothèses sur les rapports chimiques de ce corps avec les monohydrates de l'acide nitrique et de l'acide sulfurique le conduisirent à la découverte du coton-poudre, découverte qui rendit le nom de Schenbein célèbre dans toute l'Europe. Dans les derniers jours de la même année, il fit encore connaître la composition du collodion, dont il recommanda l'usage en chirurgie et que le professeur Jung, de Bâle, introduisit, dès 1846, dans la pratique médicale. Ce savant chimiste a consigné dans différents recueils scientifiques les résultats de ses travaux et n'a publié séparément qu'un petit nombre d'écrits, parmi lesquels il faut citer : *Action du feu sur l'oxygène* (Bâle, 1837); *Documents pour la chimie physique* (Bâle, 1844); *De la production de l'ozone* (Bâle, 1844); *Sur la combustion lente ou rapide des corps dans l'air atmosphérique* (Bâle, 1845).

Schweigler (Jean-Salomon-Christophe), physicien et chimiste allemand, né à Erlangen en 1779, mort en 1857. Il fit ses études dans sa ville natale, y prit le titre de privatdocent en 1809 et fut nommé, deux ans plus tard, professeur de mathématiques et

de physique au gymnase de Daireuth, d'où il passa en 1811 à l'École polytechnique de Nuremberg. En 1816, il visita la France et l'Angleterre, dans le but d'y étudier l'organisation des établissements d'instruction publique, devant, à son retour, membre de l'Académie de Munich, puis professeur de chimie et de physique à l'université d'Erlangen, et quitta cette chaire en 1819 pour passer à l'université de Halle, où il résida jusqu'à sa mort. Ses travaux en physique eurent particulièrement pour objet l'électricité et le galvanisme. Dès 1808 il avait construit un électromoteur, et, immédiatement après la grande découverte d'Oersted, il inventa le multiplicateur qui porte son nom. En 1811, il avait pris la rédaction du *Journal de Göttingen*, qu'il continua sous le titre d'*Annales de chimie et de physique*; et en laissa plus tard la direction au fils aîné de son frère, le docteur François-Guillaume Schweigger-Semel. Schweigger s'était aussi occupé de l'étude des sciences physiques telles qu'elles étaient connues des anciens, et on a de lui, entre autres ouvrages sur ce sujet, une *Introduction à la Mythologie au point de vue des sciences naturelles* (Halle, 1836), et une savante dissertation *Sur l'électrum des anciens* (Greifswalde, 1848). Sauf une brochure *Sur les séries stadiométriques*, qui fut publiée à part (Halle, 1853), tous ses autres travaux ont été insérés dans divers recueils et journaux scientifiques.

Scoreby (William), physicien anglais, né le 5 octobre 1789 à Cropton (Yorkshire), mort à Torquay le 21 mars 1857. Il était membre de la Société royale de Londres. Il a fait d'importantes études *Sur le magnétisme*, qui sont insérées dans les *Philosophical Transactions* (1819-1831), et dans les *Transactions Edinb. Soc.* (1821-1831). On lui doit aussi des études *sur le pouvoir mécanique de l'électro-magnétisme de la vapeur*, dans le *Philos. Magazine*.

Scotteten (Robert-Joseph-Henri), chirurgien français, né à Lille en 1799, mort à Metz en 1870. A dix-sept ans il entra dans le service militaire de santé, devint aide-major en 1822, major de 2^e classe en 1832 (époque où il fut envoyé en Algérie), chirurgien-major de 1^{re} classe en 1842, et médecin en chef de l'hôpital militaire de Metz en 1852. En 1855, il prit part à la campagne de Crimée et reçut la croix d'officier de la Légion d'honneur. Membre de la Société des sciences médicales de la Moselle, correspondant de l'Académie de médecine de Paris (1840), etc., Scotteten a publié, entre un grand nombre de mémoires, des travaux estimés. Nous devons nous borner à citer: *De l'électricité considérée comme cause principale de l'action des eaux minérales sur l'organisme* (1864); *De l'origine des actions électriques développées au contact des eaux minérales avec le corps de l'homme* (1866); *De la méthode électrolytique dans ses applications aux opérations chirurgicales* (1865, in-8°); *Evolution médicale, ou De l'électricité du sang chez les animaux vivants*, etc. (1870, in-8°).

Secchi (le Père Angelo), astronome italien, né à Reggio en 1818, mort à Rome en février 1878. Dès l'âge de quinze ans il entra chez les jésuites. Envoyé à Rome, il compléta ses études au collège romain, s'adonna avec passion aux sciences et fut attaché comme professeur à cet établissement. Il devint ensuite directeur de l'observatoire établi sur l'église Saint-Ignace. Après la chute du pouvoir temporel, lorsque les jésuites durent quitter le collège romain, le gouvernement de Victor-Emmanuel maintint le

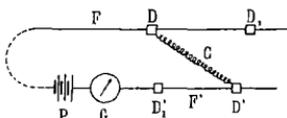
P. Secchi à la tête de l'observatoire. C'était un savant fort remarquable, que l'Académie des Sciences de Paris comptait parmi ses membres correspondants. Il restera surtout célèbre par ses travaux relatifs à la constitution chimique du Soleil. Le P. Secchi s'occupa beaucoup de météorologie. Il obtint, à l'Exposition de 1867, une médaille d'honneur pour un *météorographe* de son invention. En 1872, il fit partie du congrès international réuni à Paris pour la révision du mètre. Il parvint à ériger un observatoire météorologique au sommet du monte Cavo, dans le Latium, et il fut le principal fondateur de l'Association des spectroscopistes italiens. Outre une foule de notes et de mémoires, dont beaucoup ont été communiqués à l'Académie des Sciences de Paris, on lui doit quelques ouvrages, parmi lesquels: *Des récentes découvertes astronomiques* (1868); *la Météorologie et le Météorographe à l'Exposition universelle* (1867); *Unité des forces physiques, essai de philosophie naturelle* (1869, in-42), ouvrage publié en même temps en italien et en français; *Sur les dernières découvertes spectroscopiques faites dans le Soleil* (1869); *Description du Météorographe de l'observatoire du collège romain* (1870); *le Soleil, exposé des principales découvertes modernes* (1870, in-8°; 2^e édition, très augmentée, 1875-1878, 2 parties in-8°).

SECOHMÈTRE. — Appareil imaginé par MM. Ayrton et Perry pour mesurer le coefficient de self-induction. Il donne le produit du temps (exprimé en secondes) par une résistance (exprimée en OHMS).

SECONDAIRE (Pile). — (V. ACCUMULATEUR.)

SECousse ÉLECTRIQUE. — Effet particulier produit sur l'organisme animal par le passage de l'électricité.

SECTION RÉDUITE. — Si dans un circuit comprenant une PILE P et un GALVANOMÈTRE G on intro-



duit deux fils F, F' et que l'on complète le circuit par un conducteur C quelconque, terminé par deux curseurs D, D' mobiles sur les fils, on observera dans le galvanomètre une déviation qui changera suivant la position occupée par les curseurs. Si, par exemple, on a une déviation d lorsque les curseurs occupent la situation indiquée sur la figure, cette déviation augmentera si on amène le curseur D en D₁ par exemple, l'autre curseur restant en D'; mais on pourra ramener l'aiguille du galvanomètre à sa position première en poussant le curseur D' en D₁. Les portions du fil DD₁ et D' D₁ ayant produit le même effet sont équivalentes.

Si les deux fils F et F' sont formés du même métal, mais ont des sections s et s' , on reconnaîtra que les longueurs DD₁ et D' D₁ que nous désignerons par l et l' doivent satisfaire à la relation :

$$\frac{l}{s} = \frac{l'}{s'}$$

pour qu'il y ait équivalence dans l'intensité du courant lorsqu'on substitue l'un des fils à l'autre.

Si les deux fils sont de même section, mais de nature différente, on devra prendre des longueurs de fil différentes et ces longueurs l_1 et l_2 seront dans un rapport constant K_1 , pour les deux fils considérés :

$$\frac{l_1}{l_2} = K_1.$$

Solent maintenant deux fils F et F₁ ayant des longueurs et des sections différentes l et l_1 et s_1 et de nature différente.

Prenons un troisième fil F', de longueur l' et de section s (section égale à celle du fil F) et de même nature que le fil F.

Pour qu'il y ait équivalence entre le fil F' et le fil F il faut que :

$$(1) \quad \frac{l'}{l} = K_1.$$

Pour qu'il y ait équivalence entre le fil F' et le fil F₁ il faut que :

$$(2) \quad \frac{l'}{l_1} = \frac{s_1}{s}.$$

Multiplions les deux équations (1) et (2) membre à membre, on aura :

$$\frac{l'}{l} = K_1 \cdot \frac{s_1}{s},$$

ou :

$$\frac{l'}{s} = \frac{1}{K_1} \cdot \frac{s_1}{l_1},$$

qui est la condition d'équivalence des fils F et F₁. K_1 est ce que l'on appelle le *coefficient de conductibilité* relatif du fil F₁ par rapport au fil F.

Si on prend comme terme de comparaison le fil F, la valeur de K_1 représente la conductibilité du premier corps.

Si on désigne par L la longueur de ce fil type de section égale à l'unité, qui serait équivalente au fil F₁, de longueur l_1 , de section s_1 et de conductibilité K_1 , on aura l'équation de condition :

$$\frac{l_1}{K_1 s_1} = \frac{L}{1}.$$

L est ce que l'on appelle la *longueur réduite* ou *résistance* du fil considéré F₁.

On appelle section réduite S d'un conducteur la section d'un fil type de longueur égale à l'unité. La valeur de cette section est donnée par l'équation :

$$\frac{l_1}{K_1 s_1} = \frac{1}{S},$$

d'où :

$$S = \frac{K_1 l_1}{l_1}.$$

On a toujours :

$$LS = 1.$$

L étant la longueur réduite définie plus haut.

(Extrait du *Traité pratique d'électricité* de M. Galril.)

Seebeck (Jean-Thomas), physicien allemand, né à Reval en 1770. Fils d'un riche négociant, il se trouva de bonne heure maître d'une belle fortune, étudia la médecine à Berlin et à Göttingue, se fit recevoir docteur, puis s'adonna entièrement à l'étude des sciences physiques. S'étant rendu à Iéna, se fit s'y fixer, s'y lia d'amitié avec Goethe et plus tard se rendit fréquemment auprès de lui à Weimar, où il entra en relation avec le grand-duc. En 1810, Seebeck

quitta Iéna, voyagea en Allemagne, puis habita Nuremberg jusqu'en 1818. Devenu membre de l'Académie de Berlin, il alla se fixer dans cette ville, où mourut d'une hypertrophie du cœur en 1831. Seebeck s'est rendu célèbre par ses recherches sur l'électricité et sur l'optique. Il obtint le premier l'ammoinure mercure en 1808, mais c'est surtout par ses expériences remarquables sur l'optique que son nom est connu. L'Académie des Sciences, pour le récompenser de ses travaux, le nomma membre correspondant. Il fut élu par la suite par l'Académie au prix de 3.000 f. En 1821, il découvrit qu'il y a production d'électricité par élévation de la température de deux métaux soudés, lorsqu'on prend soin de chauffer une des surfaces et de maintenir l'autre à la température de l'air ambiant; la constatation de ce phénomène amena la découverte de la PILE THERMO-ÉLECTRIQUE. Il fit aussi des expériences très intéressantes sur le pouvoir que possèdent certaines substances de changer le plan de polarisation de la lumière et enfin sur les rayons du spectre, envisagés au point de vue de la distribution de la chaleur.

Seebeck fut un expérimentateur très habile, mais il manquait de cet esprit qui coordonne les faits et en déduit une théorie. De plus, il continuait à prendre au sérieux quelques-unes des théories émises par les physiciens du siècle précédent et se refusait à croire par exemple, que le MAGNÉTISME eût des rapports intimes avec l'électricité.

SÉLÉNIUM. — Corps se présentant à l'état vitreux ou amorphe, ou à l'état cristallin. Dans le premier cas il est isolant, dans le second cas il est médiocrement conducteur de l'électricité. M. W. Loughby Smith a employé des crayons de sélénium pour la construction de grandes résistances et il observa que la résistance du sélénium était plus faible à la lumière que dans l'obscurité. MM. Sales et Adams se mirent à l'étude du sélénium aux différentes radiations spectrales. M. Sales trouva que le maximum d'effet correspondait au maximum de température; M. Adams trouva qu'il correspondait au maximum de lumière (entre le jaune et le vert). Il constata en outre que la lumière de la lune agissait sur le sélénium. M. Siemens a construit un PHOTOMÈTRE fondé sur l'action de la lumière sur le sélénium.

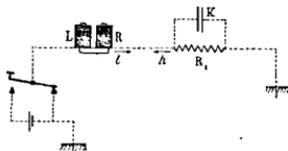
SELF-INDUCTION. — Lorsqu'un courant circule dans une bobine et qu'on augmente ou qu'on diminue son intensité, ou qu'on change son sens, il se développe dans la bobine un COURANT D'INDUCTION qui a pour effet de retarder l'établissement du régime permanent. Ce phénomène, considéré comme un cas particulier de l'induction électro-magnétique, s'appelle *auto-induction* ou plus généralement *self-induction*; il a été découvert par Henry en 1832, Masson et Jenkins en 1831, et étudié par Faraday qui l'a désigné sous le nom d'EXTRA-COURANT. (V. INDUCTION, INERTIE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE et MACHINE, Théorie des machines magnéto et dynamo-électriques.)

La self-induction cause une gêne très grande dans les appareils télégraphiques à transmissions rapides dans lesquels on emploie des ÉLECTRO-AIMANTS. En effet, l'introduction d'un électro-aimant dans un fil télégraphique, dit M. Prece, constitue une obstruction au passage des courants, notamment quand ces derniers se produisent avec des intermittences rapides ou lorsqu'ils alternent rapidement. Les courants qui passent dans l'électro sont eux-mêmes la cause de leur propre obstruction. Cet effet est dû à la self-induction qui détermine dans l'électro un courant de sens contraire à celui qui le parcourt et retarde par

conséquent le passage de ces courants. Or, tout électro-aimant a une constante de retard qui ne peut être déterminée qu'expérimentalement, car elle dépend de la qualité et de la quantité du fer employé, de la forme du noyau, de la résistance et de la qualité du fil de cuivre et de son enveloppe isolante, du nombre des spires et du mode d'enroulement. Si on représente par R la résistance de l'enroulement de l'électro-aimant et par L le coefficient de self-induction de cet électro, la constante de retard est exprimée par la relation $\frac{L}{R}$. C'est le temps que le courant emploie pour arriver de zéro à sa valeur finale.

Voici comment M. Precec est parvenu à combattre efficacement les effets de self-induction dans les appareils Wheatstone pour la télégraphie rapide, effets qui causent une très grande gêne et diminuent la vitesse de la transmission :

« Si on relie les deux plaques d'un CONDENSATEUR d'une capacité K par un fil ayant une résistance R_1 , ce condensateur se chargera dès qu'un courant traversera le circuit et le courant croîtra, par conséquent, progressivement jusqu'à sa valeur finale,



et, si le courant s'arrête, le condensateur se décharge et le courant descendra de la même manière graduellement à zéro. La constante de retard d'un appareil condensateur est $K R_1$. C'est le même genre d'effet qui se produit dans un électro-aimant, et si on règle avec soin les dimensions du condensateur et la somme de la résistance, ce dernier peut reproduire exactement l'effet de l'électro-aimant.

« Maintenant, si on relie un électro-aimant et un condensateur, comme l'indique la fig. ci-contre, chaque fois que le courant principal cesse, il y a dans l'électro-aimant une force électromotrice due à la self-induction L qui tend à prolonger le courant dans la direction L , tandis qu'il se trouve dans le condensateur K une force électromotrice due à la charge et qui tend à produire le même effet, mais dans la direction opposée k . Ces deux effets se neutralisent réciproquement quand les résistances B , R_1 , le coefficient L et la capacité K sont convenablement réglés.

« Maxwell a démontré que lorsqu'un électro-aimant et un condensateur sont équilibrés dans un pont de WHEATSTONE, $L = R_1 R_1 K$; mais dans cet arrangement de SHUNT, $L = R_1^2 K$. »

On comprend ainsi que l'introduction du condensateur shunté dans un appareil télégraphique rapide peut exercer une influence remarquable sur la vitesse de transmission.

Self-induction propre d'un métal. — Synonyme d'INERTIE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE.

Coefficient de self-induction. — Le coefficient de self-induction d'un circuit est le flux d'induction qu'il émet pour l'unité de courant et qui traverse la surface limitée à l'axe du fil (*Masart et Joubert*). On peut dire encore, d'après la définition

généralement admise, que le coefficient de self-induction L est le rapport du flux de force Φ qui traverse un système conducteur, à l'intensité I du courant; on a :

$$(1) \quad L = \frac{\Phi}{I}$$

On trouve, en partant de la définition donnée par MM. Masart et Joubert que le coefficient de self-induction d'une bobine très longue est $L = \frac{4\pi n^2 l v}{10^9}$, formule dans laquelle n désigne le nombre total des spires, l la longueur totale et v la section. Le coefficient de self-induction intervient dans les calculs par la force électromotrice de self-induction qui est exprimée d'une manière générale, en partant de la définition de Maxwell, par :

$$(2) \quad E = \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{dI}{dt} + I \frac{dL}{dt}$$

Si L est constant, on a simplement :

$$(3) \quad E = L \frac{dI}{dt}$$

Mais, ainsi que le font remarquer MM. Ch. Reignier et P. Barry (*Lumière électrique*, t. XXVII, n° 5), comme L et T sont deux quantités dépendantes l'une de l'autre, on ne pourra effectuer l'intégration de l'équation (2) qu'autant qu'on connaîtra la relation qui lie ces deux quantités.

Aussi MM. Reignier et Barry, se reportant à la définition donnée par Maxwell : La force électromotrice induite à chaque instant dans un système électro-magnétique est le rapport de l'accroissement infinitésimal du flux à l'accroissement correspondant du temps, sont amenés à définir le coefficient de self-induction comme étant la dérivée du flux prise par rapport à l'intensité du courant, et ils posent :

$$L = \frac{d\Phi}{dI}$$

(Cette définition avait été donnée avant eux par M. Cabanellas.)

Mesure du coefficient de self-induction. — Les méthodes employées sont récentes. Nous indiquerons simplement leur principe, d'après M. Jacques (*Dictionnaire d'Électricité et de Magnétisme*, 1887). La première, proposée par Maxwell et modifiée par lord Rayleigh, consiste dans l'emploi du pont de WHEATSTONE. On équilibre avec un courant continu la résistance de la bobine dont on veut mesurer le coefficient de self-induction. On coupe le courant et on note l'impulsion produite sur l'aiguille d'un GALVANOMÈTRE BALISTIQUE. On déduit ensuite légèrement l'équilibre du pont et on note la déviation permanente de l'aiguille du galvanomètre. r désignant l'augmentation de résistance à donner à la bobine pour obtenir la même déviation que l'impulsion, on obtient la valeur du coefficient de self-induction en multipliant la résistance additionnelle r par la durée d'une oscillation simple de l'aiguille du galvanomètre balistique et en divisant ce produit par π . (Lorsque le galvanomètre possède un amortissement caractérisé par le déterminé logarithmique λ , il faut multiplier par $1 + \frac{\lambda}{2}$ l'expression précédente.) Mais, pour que l'application de la formule donne des résultats exacts, il est indispensable que l'amortissement soit faible.

Si le coefficient de self-induction est faible, on se sert d'un interrupteur tournant et d'un galvanomètre

quelconque. (V. les articles publiés à ce sujet dans la *Lumière électrique*, t. XXIV, p. 139 et 401.)

Lorsque au contraire il s'agit de mesurer le coefficient de self-induction de foies électro-aimants et de machines dynamo-électriques, coefficient qui varie avec l'intensité du courant, on se sert du galvanomètre aperiodique de MM. M. Desprez et d'Arsonval. (*Lumière électrique*, t. XXI, p. 6.)

M. Joubert a proposé une autre méthode, basée sur l'emploi des courants alternatifs combinés avec un électromètre à cadran et consistant à comparer la résistance d'un conducteur à celle d'une bobine avec self-induction parcourue par un courant alternatif. Comme cette bobine paraît opposer une résistance plus forte aux courants alternatifs qu'aux courants continus, et comme le coefficient de self-induction intervient dans cette résistance active, on arrive à une formule qui permet de la calculer. (Brillouin, *Annales de l'École normale*, t. X, 1881.)

On peut encore comparer le coefficient de self-induction à un autre coefficient de self-induction, à un coefficient d'induction mutuelle, ou à la capacité d'un condensateur. (*Annales de l'École normale*). Ces méthodes sont des méthodes de réduction à zéro et sont, par suite, plus sensibles que les autres.

M. Hughes a proposé de remplacer, comme instrument de mesure, le galvanomètre par le rétrogon. C'est en opérant avec ce dernier appareil que M. H. Weber a pu mesurer le coefficient des bobines enroulées en double et vérifier que les résultats indiqués par le calcul concordent avec celui indiqué par l'expérience.

Signalons enfin, pour terminer, comment on fait pour comparer le coefficient de self-induction à la capacité d'un condensateur (méthode de Maxwell). On établit l'équilibre permanent du pont, on installe le condensateur en dérivation sur la branche du pont opposée à la bobine, et quand l'équilibre du pont a lieu indifféremment pour le courant permanent et pour le courant de rupture ou d'établissement, on trouve le coefficient de self-induction en multipliant la capacité du condensateur par le produit de la résistance des branches du pont comprenant la bobine et le condensateur.

SÉMAPHORE. — Appareil transmettant des signaux optiques.

Electro-sémaphore. — (V. BLOCK-SYSTEM.)

Sénarmont (Henri-Hureau de), minéralogiste et physicien français, né à Broué (Eure-et-Loir) le 6 septembre 1808, mort à Paris le 30 juin 1862. Admis à l'École polytechnique en 1826, il en sortit le premier et entra à l'École des mines. Successivement ingénieur à Rive-de-Gier, puis au Creusot, professeur et examinateur de physique à l'École polytechnique, Sénarmont fut en outre professeur de minéralogie et directeur des études à l'École des mines, conservateur de la bibliothèque et secrétaire du conseil du même établissement, membre de la commission des machines, ingénieur en chef (1848), officier de la Légion d'honneur. Enfin, il succéda à Beudant, en 1852, comme membre de l'Académie des Sciences. Sénarmont, qui a laissé comme professeur un souvenir durable, s'est principalement occupé de physique, de zoologie et de minéralogie, et a publié sur ces diverses sciences, dans les *Annales des sciences* et les *Annales de physique et chimie* un assez grand nombre de mémoires, dont l'un des plus importants a pour objet la *conductibilité des corps cristallisés pour l'électricité*. Le résumé du cours qu'il professait à l'École

polytechnique a été autographié après sa mort. On trouve des notes fort intéressantes. A un rare lieu d'exposition Sénarmont joignait une grande sagacité un jugement sûr et une entière bonne foi. Il a presque inauguré en France, pour l'enseignement de la physique, la sage réserve que commandent, dans l'intérêt des progrès futurs, les incertitudes qui planent encore sur beaucoup de questions délicates de la science.

SENSIBILITÉ d'un galvanomètre ou d'une boussole. — Les GALVANOMÈTRES ou BOUSSOLES sont employés pour constater le passage d'un COURANT dans un CIRCUIT (*galvanoscopes*) ou pour mesurer ce courant.

Dans les deux cas l'intensité i est liée à l'angle de déviation α de l'aiguille par une équation de la forme:

$$i = f(\alpha, a, b, \dots);$$

a, b , etc., étant des constantes dépendantes des conditions de construction de l'appareil.

Quand l'intensité varie de di l'angle α varie de $d\alpha$ et on a :

$$di = f'(\alpha, a, b, \dots) d\alpha.$$

Dans les appareils de mesure il faut que, à partir d'une position déterminée, pour une valeur donnée de α , la variation $d\alpha$ ou le rapport $\frac{di}{d\alpha}$ soit le plus grand possible. Ce rapport caractérise la *sensibilité absolue* de l'instrument.

Si a et b sont constantes, on cherchera donc à rendre maximum la valeur de cette expression, dans chaque cas déterminé. Mais on pourra aussi se proposer de déterminer a, b, \dots de façon que la sensibilité soit maximum dans tel ou tel cas.

Ainsi, pour la BOUSSOLE DES TANGENTES, la sensibilité est donnée par la relation :

$$s = \frac{2\pi n}{l r} \cos^2 \alpha,$$

dans laquelle n représente le nombre de tours que fait le fil sur le cadre galvanométrique, l l'intensité du CHAMP MAGNÉTIQUE, r le rayon du cadre circulaire, α l'angle de déviation de l'aiguille. On voit que pour rendre s le plus grand possible il faudra donner à n la valeur la plus grande possible et à r la valeur la plus petite possible, mais on est bientôt arrêté, car en augmentant n on augmente la résistance de l'appareil et on fait varier notablement l'intensité du courant qui parcourt le circuit; et en diminuant r au delà d'une certaine limite on fausse les conditions de fonctionnement de l'appareil et l'équation n'est plus rigoureuse.

Si l'on recherche dans quelle circonstance la sensibilité absolue d'un appareil donné est la plus grande, on voit que ce résultat est atteint pour $\alpha = 0$, ce qui correspond à $i = 0$. Ce qui montre que la sensibilité absolue d'une boussole des tangentes (et aussi celle d'un galvanomètre) est maximum lorsque ces appareils sont employés comme galvanoscopes. (C'est ce qui constitue la méthode de MESURE dite « de réduction à zéro ».)

Le rapport $\frac{di}{i}$ est appelé *sensibilité relative* (S); elle est mesurée par :

$$S = d\alpha : \frac{di}{i} = i \frac{di}{f(\alpha, a, b, \dots)} = \frac{f'(\alpha, a, b, \dots)}{f(\alpha, a, b, \dots)}$$

Elle est d'autant plus grande que d sera plus considérable pour une valeur donnée de $\frac{dI}{T}$.

C'est cette quantité qui devra être maximum. Pour la boussole des tangentes on a :

$$S = \frac{1}{2} \sin 2\alpha,$$

valeur maxima pour $2\alpha = 90^\circ$ ou $\alpha = 45^\circ$, ce qui donne $\sin 2\alpha = 1$. Ainsi, pour obtenir le maximum de sensibilité avec la boussole des tangentes comme mesure d'intensité, il faut que $\alpha = 45^\circ$, ce à quoi l'on peut arriver en modifiant le nombre des spires que traverse le courant. (Gariel, *Traité pratique d'Électricité*.)

SENSITIF (ÉTAT). — (V. ÉTAT SENSITIF.)

SENSOPHONE. — Nom sous lequel on désigne un appareil télégraphique servant de sondeur ou de récepteur phonique utilisé seulement en Amérique.

SÉRIE (Montage en). — Mode d'ACCOUPLLEMENT des piles et des machines.

SÉRIE DYNAMO. — Nom sous lequel on désigne les machines dynamo-électriques dont les inducteurs sont en circuit, c'est-à-dire dans lesquelles le courant produit par la machine parcourt successivement l'anneau, les inducteurs et les appareils d'utilisation.

SÉRIE THERMO-ÉLECTRIQUE. — Liste des métaux rangés dans un ordre tel que chacun d'eux agit positif par rapport à celui qui le suit dans cette liste lorsqu'ils sont soudés de manière à constituer un couple thermo-électrique.

SERRE-FIL. — Instrument destiné à réunir deux fils conducteurs. Les serre-fils affectent bien des formes; l'un des plus simples se compose essentiellement d'un cylindre ou d'un petit parallépipède de cuivre, percé à ses deux extrémités de deux trous dans lesquels on introduit les deux fils à réunir; ces fils sont maintenus par la pression de deux vis pénétrant dans deux écrous taraudés dans le cylindre ou le parallépipède suivant la direction de l'axe longitudinal.



SERRE-NEUD. — Nom donné aux instruments employés en GALVANO-AUSTIQUE pour l'ablation de certaines parties d'organes, de tumeurs, etc., en mettant à profit la propriété que possède un fil métallique de rougir lorsqu'il est traversé par un courant intense. (V. GALVANOCAUTÈRE ET ANSE.)

SERRURE ÉLECTRIQUE. — Serrure dans laquelle le pêne est actionné par un ÉLECTRO-AIMANT par l'intermédiaire d'un ressort spiral qui tend à refermer le pêne de la gâche; quand la porte est refermée, un bâti adapté au montant de la porte ramène le pêne dans la gâche et retient le ressort sur l'armature de l'électro. Généralement on préfère prendre la disposition contraire: la gâche est nue électro-magnétique; il faut en effet un effort moindre pour ouvrir la porte, dans ce dernier cas, que lorsqu'on emploie la première solution. On a combiné plusieurs systèmes de serrures électriques; nous citerons ceux de M. Fortin et de M. Stutz, etc.

SHUNT. — Expression anglaise qui dans toutes les langues a été adoptée comme synonyme de *circuit*

dérivé. On désigne ainsi une dérivation établie entre les bornes d'un GALVANO-MÈTRE pour en réduire la sensibilité dans une certaine proportion. Pour réduire le courant au $\frac{1}{n}$ de sa valeur, la RÉSISTANCE S du shunt doit être $S = \frac{G}{n-1}$. G désignant la résistance totale du galvanomètre.

SHUNT-DYNAMO. — Nom sous lequel on désigne les machines dynamo-électriques dont les inducteurs sont en dérivation sur les balais, c'est-à-dire dont les inducteurs ne sont parcourus que par une dérivation du courant total.

SHUNTER. — Expression par laquelle on désigne l'action de mettre une *dérivation* ou *shunt* entre les bornes d'un appareil récepteur quelconque (galvanomètre, régulateur, électromoteur, etc.) dans le but de ne laisser passer dans cet appareil qu'une fraction déterminée du courant fourni par une source électrique. On peut encore *shunter* un appareil producteur de courant afin de *shunter* dans son circuit extérieur qu'une fraction déterminée du courant qu'il peut fournir.

SHUNTMETER (de *shunt*, et de l'anglais *meter*, mesureur). — Instrument imaginé par M. Cardacci permettant de trouver, sans calcul, par la simple manœuvre de deux règles convenablement graduées, les résultats des formules relatives aux courants dérivés, formules dont on fait fréquemment usage dans les usines de fabrication de câbles sous-marins. Les galvanomètres employés dans ces usines pour les mesures électriques sont munis de fils de dérivation ou *shunt*. (*Jury de l'Exposition de 1881*.)

SIDÉROMAGNÉTIQUE. — Synonyme de PARAMAGNÉTIQUE ou de magnétique, par opposition au mot DIAMAGNÉTIQUE.

SIDÉROSCOPE (du grec *sidéros*, fer; *skopéō*, je vois). — Appareil asiatique servant à observer les propriétés magnétiques des corps. Il se compose d'une AIGUILLE AIMANTÉE montée à l'extrémité d'un brin de paille suspendu à un fil de cocon. Le sidéroscope a été inventé en 1828 par Leboillif.

Siemens (William), ingénieur allemand, né à Lenthe, dans le Hanovre, le 4 avril 1823, mort à Londres le 19 novembre 1883. Il fit ses premières études à Lubeck et à l'École polytechnique de Magdebourg; il suivit à Göttingue les cours des professeurs Hlmy et Vachler, puis il passa quelque temps dans les ateliers du comte Stolberg. A peine âgé de vingt ans, il vint à Londres et apporta un perfectionnement aux procédés de dépôts électro-chimiques d'Elkington, perfectionnement qu'il avait inventé avec son frère Werner. Il imagina peu après un régulateur chromatique, appliqué plus tard par sir G. Airy aux instruments astronomiques de l'Observatoire royal.

A la même époque se placent son invention d'un procédé de reproduction des imprimés et celle d'une pompe à air à double cylindre. W. Siemens se consacra ensuite à l'étude de la chaleur et débuta en 1847 par l'invention de son régénérateur.

En 1853 il présenta à l'Institution of civil Engineers un mémoire sur la *Conversion de la chaleur en travail mécanique*, dans lequel il émettait des idées nouvelles sur le fonctionnement des machines à vapeur. Il reçut le prix Telford. Dans les dix années qui suivirent il fit connaître son régulateur, sa machine à vapeur et son compresseur à eau, et il publia deux mémoires relatifs à des sujets d'électricité: l'un sur les

essais électriques faits à l'occasion de la pose du câble de Malte à Alexandrie, l'autre sur la résistance à l'électrification ou absorption électrique (v. ÉLECTRISATION) des matières isolantes sous des pressions de 300 atmosphères. W. Siemens avait fondé quelque temps auparavant la maison Siemens frères, qui s'occupa avec activité de la construction des câbles sous-marins.

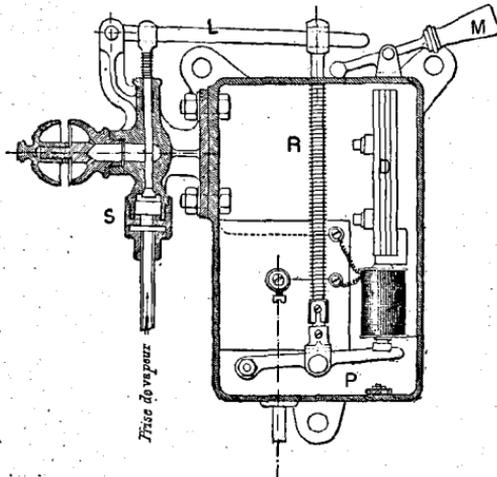
Parmi les autres inventions de Siemens citons le dynamomètre électrique destiné à la mesure des hautes températures de ses fourneaux. En 1867 il présenta à la Société royale des considérations sur l'invention de son frère Werner Siemens relative à l'excitation des inducteurs d'une machine par le courant de l'armature. Depuis cette époque il se consacra à l'étude des machines dynamo-électriques et de leurs applications, il se servit de ces machines pour transporter la force à de courtes distances dans les applications agricoles et contribua avec ses frères à la création des chemins de fer électriques. Il appliqua la lumière électrique à la culture des plantes. Citons encore le fourneau électrique, le bathomètre, le compteur à attraction, etc.

W. Siemens, qui était membre de l'Institution of civil Engineers, de la Royal Society, de l'Institution of mechanical Engineers, de l'Iron and Steel Institute, de la Society of Arts, de la Society of Telegraph Engineers and of Electricians, etc., a publié de nombreux mémoires et discours; sa vie fut tout entière consacrée à la science. Il avait obtenu de grandes récompenses aux Expositions de 1851, de 1862, de

1867. Il était décoré des ordres de nombreux pays, en particulier de la Légion d'honneur.

SIFFLEMENT de l'arc voltaïque. — M. Gimé constata que l'arc voltaïque produit souvent un sifflement. Lorsque plusieurs lampes à arc sont montées en dérivation et que l'on allume un seul foyer il brûle sans bruit; si l'on allume un deuxième foyer il se produit un sifflement intense pendant un certain laps de temps. A l'allumage d'un troisième foyer le sifflement se reproduit, mais moins fortement et pendant moins longtemps. Le phénomène a lieu à chaque nouvel allumage, mais avec une décroissance marquée, de sorte que si, par exemple, il y a dix foyers en activité, la mise du courant sur le onzième n'influe plus sensiblement sur la marche du premier. Dans ces expériences on montait au fur et à mesure des besoins l'intensité du courant excitateur de la dynamo pour maintenir aux bornes des lampes une force électromotrice aussi constante que possible. M. Gimé reconnut que le sifflement qu'il avait observé ne se produisait que par l'abaissement brusque et sans transition de la force électromotrice; il remarqua que l'intensité du sifflement est proportionnelle à l'abaissement de la force électromotrice de l'arc et à la durée du temps nécessaire au régulateur de l'arc pour ramener celui-ci à une longueur affermie à sa nouvelle différence de potentiel.

SIFFLET ÉLECTRO-AUTOMOTEUR. — Appareil destiné à avertir les mécaniciens d'un train en mar-



SIFFLET électro-automoteur.

che qu'ils ont franchi sans l'apercevoir un signal fixe mis à l'arrêt.

Cet appareil, imaginé par MM. Lartigue, Forest et Digne, comprend un contact fixe placé sur la voie en avant du signal dont il s'agit de doubler les indications et un appareil acoustique placé sur la machine. Le contact fixe est une pièce de bois de 2 mètres

de longueur portée sur des pieds en fer fixés par des tire-fonds aux traverses de la voie et recouverte à sa partie supérieure d'une feuille de cuivre reliée métalliquement au pôle positif d'une pile placée au pied du disque. Le pôle négatif de cette pile est relié au commutateur du signal et par suite est mis à la terre lorsque le signal est à l'arrêt. Lorsque au contraire le

disque est à voie libre, le pôle négatif est isolé. Le contact fixe dont il vient d'être question est placé dans l'axe de la voie à environ 200 mètres en avant du disque.

La machine est pourvue d'une brosse métallique isolée fixée à la partie inférieure du condrier et reliée électriquement à un appareil de déclenchement qui, sous l'influence du passage d'un courant, fait ouvrir la soupape d'un sifflet à vapeur.

La fig. ci-contre donne la vue en coupe longitudinale du déclenchement et du sifflet. Le sifflet est pourvu, comme on le voit, d'un levier L sollicité par un ressort élastique R dont l'extrémité inférieure est attachée à une palette P. L'extrémité de cette palette est attirée par un ÉLECTRO-AIMANT BUCHES D tant que les bobines de cet électro ne sont pas parcourues par un courant. Dans cette situation, la soupape d'introduction de la vapeur S est fermée et le sifflet ne peut pas fonctionner. Si, au contraire, on fait passer par les bobines de l'électro Hughes un courant électrique de sens déterminé, l'attraction exercée par l'aimant cesse, la palette tombe, le ressort se détend, le levier L bascule, et le sifflet fonctionne jusqu'à ce que le mécanicien, en appuyant sur la manette M, vienne l'arrêter en ramenant le levier L dans sa position primitive et par suite la palette P en contact avec l'électro-aimant D. Le courant destiné à produire l'effet signalé ci-dessus est celui qui circule du pôle positif au pôle négatif de la pile du disque, en passant par le contact fixe lorsque le disque est fermé. A cet effet l'une des extrémités du fil de l'électro-aimant est reliée avec le corps de la machine et par l'intermédiaire des roues et des rails avec la terre; l'autre extrémité est prolongée par un câble isolé qui descend sous la machine et aboutit à la brosse métallique. On comprend dès lors que la brosse, en frottant sur le contact fixe, donne passage au courant qui traverse ce contact et que par suite le sifflet fonctionne. Lorsque au contraire le disque est ouvert, c'est-à-dire lorsqu'il indique que la voie est libre, aucun courant ne traversant le contact fixe, il ne se produit aucun effet.

Le sifflet électro-automoteur est employé par le chemin de fer du Nord français.

SIGNAUX ÉLECTRIQUES LUMINEUX par ballons captifs. — M. Bruce a imaginé un système de signaux optiques consistant à illuminer, pendant des intervalles de temps déterminés, un ballon captif au moyen de lampes à incandescence placées au centre de ce ballon. Ces lampes sont actionnées par un courant envoyé dans un conducteur métallique contenu dans le câble qui retient le ballon captif. Dans des expériences faites en Belgique dans le courant de l'année 1887, le ballon essayé était en baïste d'Écosse recouverte d'une légère couche de gutta-percha; il avait un diamètre de 4^m,29. Le câble contenait deux fils de cuivre qui le reliaient à une batterie de 25 ACCUMULATEURS donnant 12 VOLTS et 72 AMPÈRES, et pouvant faire fonctionner pendant 78 heures 5 lampes de 20 bougies chacune. On faisait les signaux au moyen d'un manipulateur télégraphique Morse.

Lorsqu'on ferme le circuit, le courant se rend dans les lampes et le ballon s'éclaircit; suivant que l'on maintient la clef Morse appuyée plus ou moins longtemps, on a un éclaircissement plus ou moins long et on peut ainsi reproduire les signaux télégraphiques Morse, un éclairage long représentant une barre, et un éclairage court un point.

Les premières expériences avaient été faites avec six lampes disposées en chaplet sur une tringle à l'intérieur du ballon. Puis on les a groupées en couronne

et attachées au-dessous de l'aérostat. Dans les deux cas les signaux ont été parfaitement compris à une distance de 3.000 mètres.

SILURE ou MALAPTÈRE ÉLECTRIQUE. — (V. POISSON ÉLECTRIQUE.)

SIMILITUDES (Théorème des). — Ce théorème est dû à M. Marcel Deprez. On peut l'énoncer ainsi : *Si l'on considère deux systèmes électro-dynamiques géométriquement semblables; si ces deux systèmes sont parcourus par des courants de même densité, et si l'on désigne par K le rapport de similitude, les forces développées en des points homologues seront entre elles dans le rapport K².*

En effet, considérons deux éléments de courant quelconques ds et ds' , dans le premier système, soient l et l' les intensités qui les parcourent, r leur distance, α l'angle qu'ils font, et df la force élémentaire qui s'exerce entre eux, nous aurons :

$$df = \frac{I l I' ds ds'}{r^2} (\alpha),$$

Pour les points homologues de l'autre système, on aura :

$$dF = \frac{(K I) (K I') (K ds) (K ds')}{(K r)^2} (\alpha),$$

d'où :

$$dF = \frac{K^2 I l I' ds ds'}{K^2 r^2} (\alpha) = K^2 df.$$

On peut remarquer immédiatement que : pour obtenir un effort K^2 fois plus grand, il suffira d'employer un poids de matière K^3 fois plus grand et de dépenser seulement K^3 fois plus de travail, car si l'intensité du courant est multipliée par k , la résistance intérieure du système est divisée par k .

On arrive ainsi à cette conclusion que plus le système électrodynamique sera grand, plus les efforts qu'il pourra développer à égalité de travail dépensé seront considérables, et plus la puissance du système sera grande par rapport à son poids.

Ce théorème n'est vrai malheureusement que dans les cas auxquels on peut appliquer la formule d'Ampère.

Or, celle-ci, non plus qu'aucune autre formule élémentaire, ne tient compte de la PÉRMÉABILITÉ MAGNÉTIQUE des milieux. Cela n'a pas grande importance quand il s'agit de systèmes électro-dynamiques non renfermant que du cuivre, car ce dernier métal a sensiblement la même perméabilité que l'air, mais il n'en est plus de même dès que le système comporte du fer, ce qui a toujours lieu dans la pratique. Alors le théorème des similitudes n'est plus applicable.

SINISTRORSUM (mot latin signifiant vers la gauche).

— Expression employée pour caractériser l'enroulement d'un fil en hélice. On dira, par exemple, que l'enroulement du fil d'un solénoïde est **SINISTRORSUM** pour exprimer que ce fil est enroulé de droite à gauche, dans le sens contraire à celui des aiguilles d'une montre, en regardant l'extrémité supérieure du solénoïde dans la direction de son grand axe.

L'enroulement est dit **DEXTRORSUM** (vers la droite), lorsqu'il est fait de gauche à droite en passant par la partie supérieure des spires, autrement dit en suivant le sens du mouvement des aiguilles d'une montre.

SINUS (Boussole des). — (V. GALVANOMÈTRE et BOUSSOLE.)

SIPHON-RECORDER. — Appareil imaginé par W. Thomson et employé dans la TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE pour faciliter la lecture par l'enregistrement des signaux. Cet appareil a remplacé le GALVANOMÈTRE récepteur à miroir inventé par le même ingénieur. Ce dernier récepteur offrait, en effet, l'inconvénient de donner des signaux fugitifs, il fatiguait de plus les yeux des employés chargés de suivre les mouvements

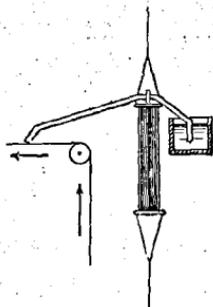


Fig. 1.

de l'aiguille. Le siphon-recorder, au contraire, enregistre les signaux sur une bande de papier comme le récepteur Morse. La principale difficulté à surmonter était de faire tracer ces signaux nettement par un corps léger animé de mouvements très rapides. Sir W. Thomson a résolu le problème en employant un siphon capillaire, très léger, en verre, dont l'extrémité craquée une solution d'aniline sur une bande de papier entraînée par un mouvement d'horlogerie ou par un électromoteur qui fait tourner en même temps le MOUSEMIL, petite machine électro-statique à rotation qui donne une réchance électrique continue. C'est cette décharge qui produit le crachement de l'encre, et on obtient ainsi sur le papier une ligne en apparence continue, mais formée en réalité d'une série de points très rapprochés. Le siphon ne touchant pas le papier conserve toute la liberté de ses mouvements ; il est mû par une petite bobine rectangulaire de fil fin parcourue par le courant de ligne et placée dans un CHAMP MAGNÉTIQUE intense, constitué par de forts ÉLECTRO-AIMANTS animés par une PILE très énergique. Dans les appareils d'un modèle récent, les électros et la pile ont été remplacés par des AIMANTS montés d'une manière spéciale.

La bobine dont il a été parlé ci-dessus se meut librement entre les pôles des électros ou des aimants et autour d'un noyau de fer doux fixe, destiné à renforcer l'action du champ sur les fils de ladite bobine ; elle communique ses mouvements au siphon par l'intermédiaire de fils de cuivre convenablement tendus. Enfin l'appareil se régit au moyen de SHUNTS gradués qui permettent d'amortir les mouvements de la bobine qui commande le siphon. La bobine, son noyau de fer doux, les attaches du siphon, etc., sont fixés à une pièce isolée mobile dans tous les sens. La force direc-

trice qui ramène la bobine et par suite le siphon dans l'axe de la bande de papier est celle due à l'élasticité de torsion des fils de suspension, élasticité que l'on peut facilement régler en tendant plus ou moins ces fils. Dans les appareils des derniers modèles on évite l'électrisation de l'encre en utilisant simplement la pression atmosphérique et en montant directement le siphon sur la bobine (fig. 4) ; on a

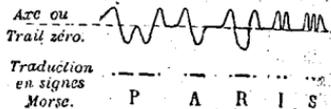


Fig. 2.

supprimé ainsi sa suspension par fils. Dans ce cas, la pointe du siphon est arrondie avec soin, afin de diminuer autant que possible la résistance due au frottement sur la bande de papier.

Ceci posé, voici comment fonctionne l'appareil : le siphon est suspendu de telle sorte que son extrémité libre porte sur le milieu de la bande de papier qui se déroule d'un mouvement continu. Il trace ainsi un trait qui occupe l'axe longitudinal de cette bande et qui se nomme le zéro de l'appareil (fig. 2). Suivant le sens du courant qui traverse la bobine moirée, le siphon décrit au-dessus ou au-dessous de ce trait une série de sinuosités. On s'en sert pour transmettre et lire les dépêches en caractères de l'ALPHABET MORSE. Seulement les points sont remplacés par les sinuosités

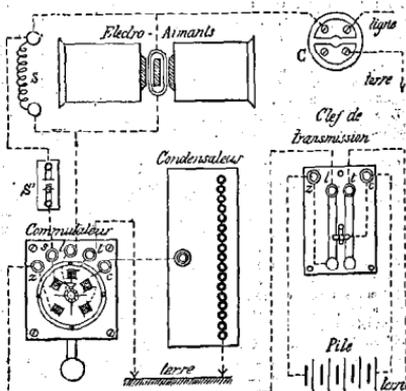
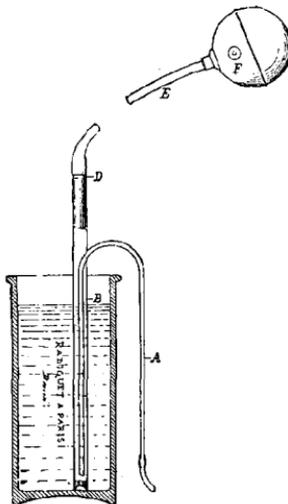


Fig. 3.

situées au-dessus de la ligne zéro et les barres par les sinuosités situées au-dessous. Ainsi le mot Paris sera inscrit sur la bande comme le montre la fig. 2.

Quant au manipulateur qui permet d'expédier ces sortes de dépêches, il se compose simplement d'une COMMANDE INVERSEUR à deux lames, dont l'une sert à émettre les courants positifs et l'autre les courants négatifs (v. TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE). La fig. 3 donne le schéma d'un poste complet.

SIPHON POUR PILE. — Appareil permettant d'évacuer le liquide d'une pile d'un modèle quelconque. M. Radigue a imaginé un siphon très commode qui s'amorce par insufflation et non par aspiration. La fig. ci-après en représente une coupe. Le fonctionnement de l'amorçage est très simple. Supposons que la branche communiquant avec le tube B plonge dans le récipient dont on veut transvaser le liquide; le niveau de ce liquide sera le même dans la petite branche du siphon et dans le tube B que dans le récipient. Si, par un procédé quelconque, on souffle dans le tube B, la pression y augmente subitement et le liquide qu'il contient en est refoulé, mais l'orifice inférieur du tube B ne peut suffire pour



Siphon pour pile.

débiter assez rapidement tout son contenu : une partie du liquide remonte par suite de la pression intérieure dans la branche du siphon A qui se trouve ainsi amorcée. Les siphons clabés comme il vient d'être dit s'arrêtent à la hauteur de l'extrémité inférieure du petit tube A; on peut construire des siphons permettant de ne vider qu'une portion déterminée du liquide. Si, au contraire, on veut vider complètement un récipient, on amorce le siphon comme il a été expliqué et on bouche ensuite l'extrémité supérieure du gros tube; ce dernier fait alors partie intégrante du siphon, et comme il descend jusqu'au fond du récipient, la vidange ne cessera que lorsque le vase sera complètement vide. Une fois le siphon amorcé, on peut aussi, en soufflant très énergiquement, le désamorcer. En effet, si la quantité d'air insufflé est plus grande que la capacité du gros tube, cet air entre dans le petit tube et par suite le désamorcer. Ce point est important, car il permet d'arrêter à un moment quelconque la vidange pour la continuer ensuite et cela avec la même facilité que si l'on faisait usage

d'un robinet. Il résulte de ce qui précède qu'on souffle lentement pour obtenir l'amorçage et très vigoureusement pour le désamorçage. Par l'application de ce système aux piles électriques et accumulateurs, on arrive à supprimer les robinets et on a la possibilité d'entretenir chaque récipient sans le déplacer. Les manipulations sont donc considérablement simplifiées, aucun liquide n'est perdu.

SIRÈNE ÉLECTRIQUE. — Appareil permettant de déterminer le nombre de vibrations correspondant à chaque ton. La sirène électrique de M. le Dr R. Weber se compose essentiellement d'une roue dentée, sur le bord de laquelle appuie un ressort mis en communication avec un fil métallique aboutissant à l'un des pôles d'une pile. L'autre pôle de cette pile est relié à un téléphone mis lui-même en relation avec l'axe de la roue. Lorsqu'on fait tourner la roue, l'extrémité libre du ressort venant appuyer sur une dent, puis rencontrant l'intervalle libre qui la sépare de la dent suivante, le circuit se trouve fermé puis ouvert et il se produit une série d'attractions et de relâchements de la plaque vibrante du téléphone qui rend un son. La hauteur du ton et le nombre de vibrations correspondant sont directement proportionnels au nombre de dents de la roue et à la vitesse de rotation de l'axe. L'intensité du ton et l'amplitude des vibrations de la plaque du téléphone sont fonctions de l'intensité du courant électrique et varient d'un téléphone à un autre. Le timbre, c'est-à-dire le nombre, la hauteur et l'intensité des tons qui s'ajoutent au ton principal, dépend de la constance de la pile, de la perfection de la roue et du ressort, de la qualité du téléphone.

M. Weber a construit une sirène multiple à courants primaires. Dans certains cas, surtout si la résistance dans le circuit est grande, il est avantageux de faire parler le téléphone par les courants induits. Dans ce but, on place près de la sirène et de la pile une bobine d'induction, dont le fil primaire se trouve dans un même circuit avec la batterie et avec la sirène, tandis que le fil secondaire n'est relié qu'au téléphone. On compte le nombre de vibrations correspondant à un certain ton dans un temps donné en déterminant le nombre de dents de la roue, le nombre de tours de l'axe et le temps correspondant; on se sert pour cela d'un compteur de tours mis en mouvement par l'axe de la sirène. Le mouvement de rotation de la sirène peut lui être imprimé par un moteur quelconque. M. Weber a fait avec la sirène électrique de nombreuses expériences, qui lui ont fourni la preuve de l'exactitude de la théorie de Helmholtz (*Théorie des sons résultants, indépendante des questions physiologiques*, publiée dans les *Annales de Poggendorf*, année 1856). Helmholtz ajoutait à sa théorie une preuve expérimentale de l'existence physique de ces sons résultants, en démontrant qu'une membrane convenablement tendue résonne à l'unisson avec ces sons résultants. M. Weber la confirme en faisant remarquer que si un son résultant est entendu au téléphone, c'est bien par la vibration réelle de la plaque de cet instrument et de l'air que nous le percevons.

En se servant de la sirène pour interrompre un circuit dans lequel sont encore intercalés une pile de 5 à 8 couples Daniell et l'ÉLECTRO-AMANT D'UN RELAIS, on perçoit les sons moléculaires dus aux variations du MAGNÉTISME du noyau de fer doux, résultant des variations rapides de l'intensité du courant circulant dans les bobines. Ce phénomène est connu depuis longtemps; les sons ainsi produits ont été appelés sons moléculaires parce qu'ils étaient attribués à des

vibrations moléculaires du fer. Dans l'expérience faite dans les conditions énoncées plus haut, ces sons moléculaires deviennent très forts; l'électro-aimant seul, sans armature, donne un son perceptible à la distance, mais qui est renforcé quand on place sur le fer un cheval un morceau de fer de forme quelconque, en ayant soin de séparer l'armature en fer de l'aimant par une mince feuille de papier.

M. Weber indique la possibilité de transformer la sirène de façon à faire de la musique en un grand nombre quelconque d'endroits très éloignés entre eux et du lieu où l'on fait naître la cause de cette musique. Voici en quels termes il indique le principe sur lequel serait construit cet instrument, qu'il appelle *piano-sirène* :

« Le cylindre de la sirène aurait une longueur suffisante pour qu'il puisse contenir les roues correspondant aux tons de 6 à 7 octaves avec leurs dièses et bémols. Entre chaque ressort qui touche sa roue et la pile correspondante, on intercale la touche d'un clavier. A l'état ordinaire de cette touche, le contact électrique entre les deux parties n'est pas fait; ce n'est qu'on abaisse la touche que le circuit est établi et que les interruptions du courant sont déterminées par la roue de la sirène donnant au téléphone la hauteur et la durée du ton. Pour varier l'intensité du ton, il suffit d'ajouter une série de résistances différentes, dont on introduit dans le circuit électrique une quantité plus ou moins grande suivant les intentions de la personne qui fait la musique. Enfin, le tout doit être mis en communication avec un réseau téléphonique. Un pianiste pourra donc donner un concert à un grand nombre de personnes réparties dans différentes maisons et fort éloignées de lui. Le pianiste même n'entendra pas son jeu à moins qu'il ne se murisse, lui aussi, d'un téléphone.

« Il est possible de construire un appareil purement mécanique, si l'on veut confier les contacts, non plus au pianiste, mais à un cylindre tournant, garni de lames qui viendraient faire des contacts au moyen de lames en communication avec les roues de la sirène. Ce cylindre aurait quelque ressemblance avec le cylindre des boîtes à musique; toutefois, l'appareil étant électrique, la construction en serait différente. La musique que donneraient ces instruments ne manquerait pas d'avoir un caractère particulier, grâce au nombre et à l'intensité des sons résultants; mais il est même possible que ces sons résultants rendent cette musique peu agréable à l'oreille. »

SISMOGRAPHE (du grec *seismos*, tremblement; *graphô*, j'écris). — Appareil servant à enregistrer les différents phénomènes mécaniques qui accompagnent un tremblement de terre. Il en existe plusieurs modèles, qui ne diffèrent entre eux que par les dispositions du mécanisme. Dans certains d'entre eux l'inscription des indications se fait au moyen d'un COURANT ÉLECTRIQUE. (V. ENREGISTREUR.)

— Nous citerons à titre d'exemples :

1^o Le **sismographe électrique** de M. Palmieri, qui indique le moment et la durée des mouvements verticaux et horizontaux dans les secousses de tremblements de terre. Les mouvements verticaux produisent un contact qui ferme un circuit électrique; les mouvements horizontaux ont pour effet de faire incliner des tubes en U remplis de mercure et orientés aux quatre points cardinaux. Le mouvement du mercure a pour résultat d'établir des contacts et de fermer des circuits. Cet appareil est décrit par Du Moncel (*Applications de l'électricité*, t. IV).

2^o Le **sismographe** imaginé par M. Gray pour l'étude des tremblements de terre du Japon et dont la

description a été donnée par le *Philosophical Magazine* (n^o 443, année 1887). L'appareil enregistre l'époque, l'intensité, la période et la direction du mouvement sismique. On enregistre généralement trois composantes du mouvement : la composante verticale et deux composantes horizontales perpendiculaires entre elles. L'appareil est purement mécanique, l'enregistrement se fait sur un ruban de papier à l'aide d'un siphon enrouleur. L'organe destiné à l'enregistrement de la composante verticale du mouvement sismique se compose d'un levier horizontal oscillant autour d'un couteau, maintenu dans sa position horizontale par deux ressorts; il est muni à l'une de ses extrémités d'un contre-poids, et son autre extrémité est reliée par un fil très fin à un index en aluminium portant un siphon appuyant sur la surface de papier. Ce levier-pendule horizontal, quand il est réglé, accuse instantanément les moindres mouvements verticaux et peut ainsi remplacer les niveaux ordinairement employés; mais, dans ce dernier cas, est nécessaire de réduire autant que possible le frottement du siphon sur le papier. On y arrive en écartant l'enregistrement à l'aide des décharges d'une BOÛNE D'INDUCTION; ces décharges passent à travers le papier. Les étincelles éclatent à intervalles très courts, réglés par un INTERMÉTÉRIUM mû par le mouvement d'horlogerie de l'appareil.

SMÉE (Alfred). — Physicien anglais, né à Cambridge, près Londres, le 18 juin 1818, mort à Londres le 11 janvier 1877. Il a inventé une pile qui porte son nom et a publié différents traités sur l'Électro-metallurgie (1843), l'Électro-biologie (1849).

SNOW HARRIS (William), médecin anglais, né à Plymouth le 4^{er} avril 1794, mort dans la même ville le 29 janvier 1867. Il était membre de la Société royale. La marine anglaise adopta son système de paratonnerre. Il a laissé un grand nombre d'études et de notes, parmi lesquelles nous citerons : *Recherches sur la loi de Coulomb*; *Étude sur les orages*; *Leçons élémentaires d'électricité* (traduites en français par Garnault, 1857.)

SCHMERRING (Samuel-Thomas), médecin allemand, né à Thurn (Prusse occidentale) le 28 janvier 1755, mort à Francfort le 2 mars 1839. En 1811 il présenta à l'Académie de Munich un télégraphe électrique fondé sur la décomposition de l'eau par la pile; ce système de communication télégraphique, qui exigeait l'emploi de 35 fils (v. ALPHABET TRISCHMERRINGUE), disparut dès que la découverte d'Ørsted fut connue et qu'Ampère proposa son télégraphe à aiguille.

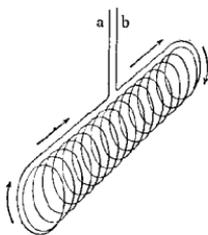
SOLÉNOÏDE. — On désigne habituellement ainsi une longue hélice formée de spires d'un petit diamètre par rapport à sa longueur, bien que ce nom ne convienne qu'à une série de cercles égaux et parallèles, perpendiculaires à un axe commun et traversés par des courants égaux.

Pour construire un solénoïde, on enroule un conducteur sur un cylindre suivant une hélice et on ramène ce conducteur sur lui-même en ligne droite, parallèlement à l'axe de l'hélice.

Dans un pareil système, le courant arrive par l'un des bouts du fil, suit le contour hélicoïdal et revient en ligne droite le long de l'axe. Il résulte d'une loi d'Ampère, connue sous le nom de loi des courants sinusoïdaux (v. ÉLECTRO-DYNAMIQUE), que l'action exercée par le courant hélicoïdal, soit sur un

autre courant, soit sur une AIGUILLE AIMANTÉE, est en partie détruite par celle du courant rectiligne qui traverse son axe et se réduit à celles des courants circulaires de même sens auxquels se réduirait le courant hélicoïdal si l'on pouvait imaginer que les spires de l'hélice ne s'avancèrent pas dans le sens de l'axe.

Pour pouvoir réaliser les diverses expériences auxquelles conduit successivement l'étude des propriétés des solénoïdes, on leur donne une forme plus commode que celle que nous avons supposés d'abord. La spirale étant formée, on ramène parallèlement à l'axe du cylindre les deux bouts du fil jusque vers la spire moyenne, on les recourbe à angle droit en ce point et on les redresse parallèlement (fig. 1). Si le solénoïde ainsi construit doit exercer lui-même l'action expérimentée, on l'attache à l'aide de pinces les deux extrémités a et b du fil qui le forme aux électrodes de la pile; si, au contraire, il doit être soumis à l'action essayée, on recourbe les extrémités du fil de manière qu'en reposant sur des supports



Solénoïde.

elles forment un axe de rotation de l'appareil. Les supports sur lesquels on fait reposer les pointes qui terminent le fil sont de petites ouvertures métalliques en communication avec les électrodes de la pile et contenant quelques gouttes de mercure qui servent à établir plus intimement le contact. Dès que la pile est en activité, le solénoïde qui forme le circuit est traversé par le courant, et l'on peut observer les effets dynamiques produits sur lui par l'action d'un courant, d'un aimant ou de la terre. (V. ELECTRO-MAGNÉTISME.)

Action de la terre sur les solénoïdes. — Le solénoïde étant suspendu horizontalement, comme nous venons de le supposer, il entre en mouvement aussitôt que le courant passe et vient se disposer parallèlement à l'aiguille de déclinaison dans un sens tel que le courant aille de l'est à l'ouest dans l'arc inférieur de chaque spire, et inversement dans l'arc supérieur.

Ce fait s'explique de lui-même par l'action directrice de la terre sur un courant rectiligne. On sait, en effet, qu'un fil rectiligne vertical ou incliné, mobile autour d'un axe vertical contenue avec lui dans un même plan, vient, aussitôt qu'il est traversé par un courant, se placer dans un plan perpendiculaire à celui du MÉRIDIAN MAGNÉTIQUE, à l'est de son axe de rotation si le courant est descendant, et à l'ouest dans le cas contraire.

Or, chaque élément d'une spire d'un solénoïde est un fil rectiligne incliné, mobile autour d'un axe ver-

tical; tous les éléments d'une même spire doivent donc tendre à venir se placer dans un même plan perpendiculaire à celui du méridien magnétique, et par suite l'axe du solénoïde doit tendre lui-même à venir se placer parallèlement à l'aiguille de déclinaison; il est aisé de voir de plus que, si le courant va de l'est à l'ouest dans la partie inférieure d'une spire, il sera descendant dans la partie de la spire tournée à l'est et ascendant dans l'autre partie.

Un solénoïde se comporte donc sous l'action de la terre absolument comme un aimant. Pour compléter l'analogie, on nomme *pôle austral du solénoïde* l'extrémité qui se tourne vers le nord, et *pôle boréal* celle qui se tourne vers le sud.

Actions mutuelles des solénoïdes. — Si l'on approche d'un des pôles d'un solénoïde suspendu, comme dans le cas précédent, le pôle de même nom d'un solénoïde tenu à la main, on observe une répulsion d'autant plus vive que les piles qui fournissent les deux courants sont plus énergiques; si ce sont les deux pôles contraires des deux solénoïdes que l'on a rapprochés, on observe, au contraire, une attraction de l'un vers l'autre.

Actions mutuelles des aimants et des solénoïdes. — Les mêmes phénomènes s'observent entre un solénoïde mobile autour d'un axe vertical et un barreau aimanté tenu à la main, ou entre une aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical et un solénoïde tenu à la main; il y a attraction ou répulsion selon qu'on en approche les pôles de nom contraire ou les pôles de même nom.

Ce sont ces faits caractéristiques qui ont suggéré à Ampère l'hypothèse par laquelle il ramène les phénomènes magnétiques aux phénomènes électrodynamiques, en imaginant que les aimants et la terre elle-même ne sont autre chose que des corps dans lesquels se propagent des courants de même sens le long des sections faites dans leur surface par des plans parallèles; la terre, par exemple, ne devrait ses propriétés magnétiques qu'à des courants perpétuels dirigés sur toute l'étendue de sa surface, à peu près de l'est à l'ouest. On a cru pouvoir expliquer l'existence de ces courants par le transport continu du soleil. Cette hypothèse s'est trouvée de nouveau corroborée lorsque, ayant placé un barreau d'acier dans l'intérieur d'un fil contourné en hélice et parcouru par un courant, Ampère a vu le barreau acquiescer toutes les propriétés magnétiques. (V. la théorie des solénoïdes à l'article ELECTRO-MAGNÉTISME.)

SOLÉNOÏDE MAGNÉTIQUE. — On nomme sous lequel on désigne un barreau infiniment mince, d'une forme quelconque, aimanté longitudinalement avec une intensité variant dans ses différentes parties en raison inverse de l'aire de la section normale, c'est-à-dire de la section transversale perpendiculaire à la longueur. (Le produit de deux quantités dont l'une varie en raison inverse de l'autre est constant.) Le produit constant de l'intensité d'aimantation par l'aire de la section normale est appelé *l'intensité magnétique* ou quelquefois simplement *intensité du solénoïde*. Il en résulte que le moment magnétique d'une portion droite ou d'une portion infiniment petite d'un solénoïde courbe est égal au produit de l'intensité magnétique par la longueur de cette portion.

Un certain nombre de solénoïdes magnétiques de différentes longueurs peuvent être ajoutés ensemble, de façon à constituer un système qui, au point de vue de l'action magnétique, est équivalent à un barreau

unique infiniment mince, de forme quelconque, aimanté longitudinalement avec une intensité variant arbitrairement d'une extrémité du barreau à l'autre. Un aimant de ce genre est appelé pour cela un *solénoïde magnétique complexe*.

« L'intensité magnétique d'un solénoïde complexe n'est pas uniforme, mais elle varie d'une partie à l'autre.

« Un anneau ferré infiniment mince, aimanté de la façon décrite plus haut, est appelé un *solénoïde magnétique fermé*. » (Thomson.)

« On démontre mathématiquement que le POTENTIEL dû à un solénoïde simple, et par conséquent tous ses effets magnétiques, dépendent seulement de son intensité et des positions de ses extrémités, et pas du tout de la forme, droite ou courbe, qu'il affecte entre ses extrémités.

« En d'autres termes, on démontre qu'un solénoïde peut être regardé comme composé de deux portions égales de matière magnétique, concentrées aux points où se trouvent ses extrémités, et reliées par un barreau parfaitement rigide, non magnétique et impondérable.

« Alors, si un solénoïde forme une courbe fermée, le potentiel auquel il donne naissance est zéro à chaque point, car nous avons vu que ses différentes parties n'exercent aucune action, à l'exception des pôles, et dans le cas actuel les pôles se neutralisent exactement. » (Gordon.)

SOLÉNOÏDE. — *Méd.* On sait que l'action magnétique se fait sentir sur l'organisme humain à un degré contestable dans l'état de santé, tandis qu'elle provoque les phénomènes les plus apparents et les plus variés dans certains états morbides. Ainsi qu'on peut le prévoir, les solénoïdes se comportent, à cet égard, exactement comme les aimants. C'est ce qui a été constaté dans une série d'expériences faites à la Salpêtrière en 1877. Tout ce qui a été dit de l'action physiologique des aimants convient donc aux solénoïdes. Ceux-ci ont, en outre, présenté une particularité intéressante. La principale objection soulevée par les faits vraiment extraordinaires auxquels donnait lieu l'application des aimants (et des autres esthésiogènes) était tirée de ce qu'on appelait l'*attention expectante*. On supposait que les effets physiologiques ou contraires observés pouvaient avoir leur origine dans l'imagination du sujet, dont l'attention était éveillée par la disposition même de l'expérience et excitée par l'attente d'un résultat.

On s'était mis à l'abri d'erreurs de ce genre en employant à l'insu des malades de faux aimants présentant la même apparence que les vrais, etc. Mais les solénoïdes offraient le moyen le plus commode pour donner à ces expériences de contrôle le caractère le plus probant. La pile et l'interrupteur du courant étaient placés dans une pièce contiguë à celle où se trouvait le malade. Celui-ci, pas plus du reste que l'expérimentateur, ne pouvait savoir si le solénoïde était ou non en activité. Dans ces conditions, on a toujours constaté que les effets habituels se manifestaient exclusivement pendant le passage du courant.

SON émis pendant l'électrolyse. — Gore a découvert que, dans certains liquides électrolysés, il se produit une sorte de bourdonnement. Ce son est émis par des électrodes de mercure, et ce dernier métal se recouvre alors de légères vagues pendant le passage du courant intermittent durant ces vibrations. Il paraît que l'on perçoit aussi des sons pendant la précipitation de certains métaux, en particulier pendant la précipitation de l'antimoine.

SON (Lire au). — Comprendre une dépêche Me au bruit produit par la palette du récepteur con les noyaux de l'ÉLECTRO-AIMANT.

Dans certains pays on se sert de récepteurs ai plifiés ou *sounder*, et on ne garde pas trace de dépêche transmise. Un bon télégraphiste peut le jours lire au son.

SONDE ÉLECTRIQUE. — Appareil môle M. Trouvé a construit une sonde capsiographique éit trique sur le principe de son stylot avec sonne électrique pour révéler la présence d'un corps étra métallique dans les tissus. Lorsque cette sonde vie au contact du corps étranger, le circuit de la pile trouvant fermé, la sonnerie tinte (v. EXPLORATEUR EXTRACTION).

On trouvera au mot GALVANOCAUTÈRE la descripti et le dessin de plusieurs sondes, notamment de sonde urétrotomique, de la sonde Dr Jardi de la sonde pour trompe d'Eustache, de la sonde Bowmann.

SONDE MARINE ÉLECTRIQUE. — Appareil sen vant à mesurer la profondeur de l'eau et destiné remplacer le plomb de sonde, qui est d'un usage it certain et incommode. Cet appareil, imaginé p Irish, se compose d'un plongeur ou sonde, d'un ligne contenant un conducteur isolé, flexible, enroul sur un caret, d'un indicateur, d'un registre marqua la longueur de la ligne filée, d'une SONNERIE et d'UN PILE.

La sonde consiste en une pièce métallique d forme cylindrique percée au centre d'un trou d 3 millimètres de diamètre et de plusieurs centimètr de profondeur contenant du mercure et fermé par u chapeau à vis imperméable à l'eau, dans lequel pass le fil isolé. Quand la sonde est verticale, l'extrémit de ce fil ne touche pas le mercure et reste isolée mais quand elle est couchée horizontalement ou seu lement inclinée, ce qui arrive lorsqu'elle traîne su le fond, le mercure vient au contact du fil et ferm ainsi le circuit électrique entre le métal de la sonde et le sol. La sonnerie se met alors à tinter. L'indicateur, renfermé dans une boîte métallique, est muni d'un cadran sur lequel sont inscrits le nombre de brasses (1 brasse est égale à 1^m,83), et d'une aiguille qui avance d'une division à chaque brasse de ligne filée.

Un autre appareil du même genre a été imaginé par M. E. de La Croix; il se compose d'un cylindre métallique percé, dans le sens de son axe, d'une chambre cylindrique dans laquelle on introduit à sa sortie de piston métallique guidé et terminé à sa partie inférieure par un sabot. Lorsque la sonde touche le sol, le petit piston remonte dans la chambre et il s'établit ainsi un contact électrique entre deux petits ressorts en communication l'un avec l'autre, et qui sont reliés à une pile et à une sonnerie, cette dernière se met à tinter dès que le circuit est fermé, c'est-à-dire dès que l'extrémité inférieure de la sonde touche le fond. (*Académie des Sciences*, 1883.)

SONNERIE ÉLECTRIQUE. — Appareil d'appel, d'alarme et de contrôle actionné par l'électricité d'une source quelconque.

On peut classer les sonneries en deux grandes catégories.

- 1^o Les sonneries actionnées par un courant de PILE.
- 2^o Les sonneries actionnées par le courant d'une petite machine magnéto-électrique.

I. — SONNERIES ACTIONNÉES PAR UN COURANT DE PILE.

Les sonneries actionnées par un courant de pile se divisent elles-mêmes en deux classes : les sonneries à trembleur, qui sont les plus répandues, et les sonneries à RELAIS.

Une sonnerie à trembleur se compose essentiellement

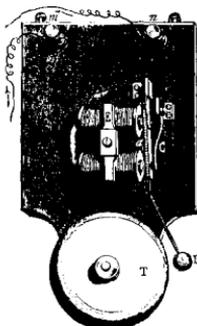


Fig. 1. — Sonnerie électrique à trembleur, forme pendante.

ment d'un électro-aimant E devant les pôles duquel se trouve une armature de fer doux suspendue par un ressort et portant un marteau P qui vient frapper sur un timbre T lorsqu'un courant passe dans les

bobines de l'électro et que par suite l'armature est attirée (fig. 1). Dès que l'armature a été attirée, le courant cesse de passer dans l'électro, l'armature s'éloigne de ses pôles et elle vient alors au contact d'un ressort C.

La figure indique comment sont établies les communications entre les diverses pièces de l'appareil et les bornes m et n auxquelles on attache les fils conducteurs du courant électrique.

Il est facile de se rendre compte du mode de fonctionnement de l'appareil : le courant venant de la pile arrive à la borne m, passe dans les bobines de l'électro-aimant E, et de là à l'armature; le ressort C communique par la borne n avec l'autre pôle de la pile. Lorsque le circuit est fermé (par le bouton poussoir ou le commutateur placé à une certaine distance) et que le courant passe dans les bobines de l'électro-aimant, l'armature est attirée, elle s'écarte du ressort C, le circuit est interrompu et l'armature est par suite ramenée à sa position primitive par le ressort de suspension; elle touche de nouveau au ressort C; le circuit est fermé, ce qui produit une nouvelle attraction de l'armature, et ainsi de suite.

On voit que le marteau du timbre est ainsi animé d'un mouvement d'oscillation très rapide, et qui a pour effet de produire un tintement continu tant que le courant passe dans l'électro-aimant.

Il existe un grand nombre de modèles de sonneries trembleuses.

Sonneries de disques. — Ces sonneries sont employées, dans les gares de chemins de fer, pour indiquer aux agents qui manœuvrent les disques avancés et les signaux qui défendent l'entrée de ces ares que ces disques ou ces signaux sont à l'arrêt. La sonnerie fonctionne alors tout le temps que la voie est occupée.

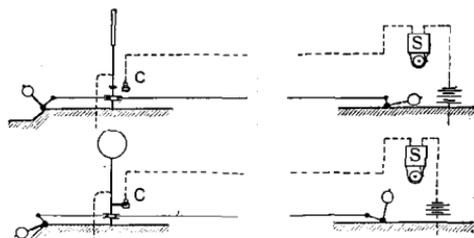


Fig. 2 et 3.

Les deux schémas ci-contre (fig. 2 et 3) permettent de se rendre compte du mode d'installation de ces sonneries. On pose un fil conducteur entre la sonnerie S placée près du levier de manœuvre et le signal; ce fil est relié d'une part avec un commutateur C muni par le disque lui-même, d'autre part avec l'une des bornes de la sonnerie; l'autre borne de cette sonnerie communique avec l'un des pôles d'une pile dont l'autre pôle, ainsi que le commutateur du disque, est en relation avec la terre.

La mise à l'arrêt du disque a donc pour conséquence d'établir un contact entre les deux pièces du commutateur, de fermer ainsi le circuit de la pile, et de permettre au courant qu'elle produit d'actionner la sonnerie.

Dans certains modèles de sonneries de disques l'électro-aimant est boîeux. (V. ÉLECTRO-AIMANT.)

Enfin, dans le cas d'une installation comme celle décrite ci-dessus, c'est-à-dire lorsque le fil de la sonnerie se trouve à l'extérieur, on ajoute ordinairement sur le socle de cette sonnerie un PARATONNERRE à papier et à pointes qui a pour but de protéger l'appareil contre les décharges d'électricité atmosphérique, qui pourraient brûler le fil des bobines de l'électro-aimant.

Dans certains cas, il peut y avoir inconvénient à employer des sonneries dont le marteau ne donne qu'un seul coup sur le timbre à chaque interruption et rétablissement du circuit de ligne, par exemple pour transmettre des signaux ou des ordres dont la signi-

fication est réglée d'avance d'après le nombre de coups de timbres perçus. Dans ce cas, il suffit de supprimer le ressort interrupteur C (fig. 4) et de relier la bobine directement aux deux bornes d'attache m et n. On conçoit alors que si on fait passer un courant dans cet appareil l'armature sera attirée et restera au contact des noyaux de l'électro tant qu'on ne rompra pas le circuit. A chaque fermeture de ce circuit il se produira donc un é choc du marteau contre le timbre.

Sonnerie trembleuse (système de Redon). — M. de Redon a imaginé un type de sonnerie trembleuse qui présente certains avantages. Le marteau, au lieu d'être placé à l'extrémité d'une tige droite fixée à l'armature de l'électro-aimant, se trouve à l'intérieur du timbre et est adapté sur un ressort demi-

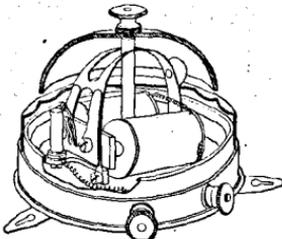


Fig. 4. — Sonnerie électrique, système de Redon.

circulaire dont une des extrémités est fixe et dont l'autre constitue cette armature (fig. 4).

Celle-ci est attirée quand le courant passe; le ressort se trouve ainsi mis en mouvement et l'impulsion qu'il acquiert lui donne une telle élasticité qu'il aurait une course pour ainsi dire illimitée s'il n'était arrêté par le choc du marteau sur le timbre. Les avantages qu'offre ce nouveau modèle de sonnerie sont donc d'éviter une cause d'irrégularité assez fréquente dans la plupart des sonneries trembleuses ordinaires et de supprimer le réglage du ressort interrupteur.

On construit des sonneries de ce système avec des timbres de 40 et de 60 centimètres de diamètre en acier fondu et on les emploie dans certaines compagnies de chemins de fer comme signaux avertisseurs.

Sonnerie trembleuse (système Jensen). — M. Jensen a imaginé une forme de sonnerie trembleuse plus gracieuse que celle dont le mécanisme est renfermé dans une boîte en bois; les organes de cet appareil sont placés sous le timbre, qui affecte la forme d'une cloche d'église. L'électro-aimant est remplacé par un solénoïde (fig. 5); le noyau de celui-ci porte deux pièces polaires qui attirent simultanément une armature commune. Cette armature forme l'une des branches d'un U renversé dont l'autre branche porte le marteau réglé de manière à contrebalancer exactement le poids de l'armature. Le système est donc suspendu par sa partie supérieure; il peut se mouvoir autour de son point de suspension dans un plan vertical. Quand le courant passe et que l'armature est attirée, le circuit est interrompu entre elle et un ressort qui la touche et l'attraction cesse donc; le marteau revient à sa position initiale après avoir frappé le timbre et le circuit est

refermé. L'appareil agit donc comme une sonnerie trembleuse.

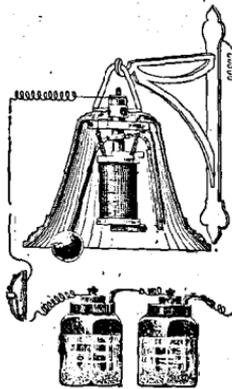


Fig. 5. — Sonnerie électrique, système Jensen.

Sonneries d'appartement. — Les sonneries employées dans les appartements ou dans les hôtels sont, quant au mécanisme, des sonneries trembleuses complètement analogues à celles qui ont été décrites ci-dessus; elles n'en diffèrent que par les moindres dimensions de leurs organes. On donne à la boîte qui les contient une forme spéciale permettant de les accrocher facilement contre la muraille. On en dispose à timbres en métal ou en bois, à clochettes, à grelots, suivant l'intensité du son qu'on veut en obtenir et pour permettre de les distinguer quand il y en a plusieurs à côté les unes des autres.

Installation des sonneries d'appartement. — Une installation de sonneries électriques se compose :

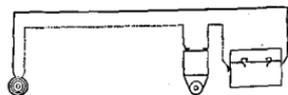


Fig. 6.

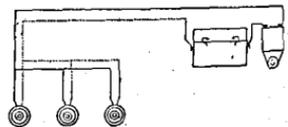


Fig. 7.

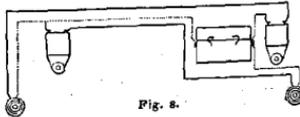


Fig. 8.

1° D'un générateur d'électricité; c'est généralement une pile Leclanché. (V. FILES.)

2° D'appareils transmetteurs; ces appareils peuvent être de modèles différents suivant les cas : boutons se fixant sur le mur, poires attachées à l'extrémité d'un fil souple et mobile, contacts de pose, pédales, etc.

3° D'appareils récepteurs, c'est-à-dire de sonneries dans les installations simples, de tableaux à plusieurs numéros dans les installations plus complètes

(le principe de ces tableaux est indiqué dans les articles TABLEAUX INDICATEURS et Avertisseurs).

4° De fils métalliques servant de conducteurs du courant électrique, des organes transmetteurs aux appareils récepteurs. Ces fils sont généralement des fils de cuivre n° 4 (9/10 de millimètre de diamètre), recouverts de gutta-percha et d'une enveloppe de co-

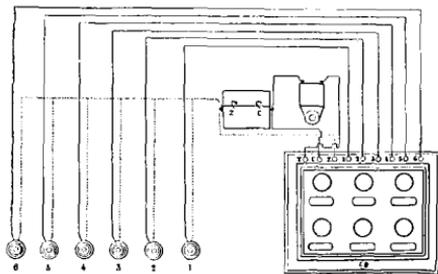


Fig. 9.

ton de nuance assortie à la décoration de la pièce dans laquelle ils doivent être placés. Ces fils sont supportés de distance en distance par de petits isolateurs en os de nuances diverses.

La pose des fils n'offre aucune difficulté; il importe de les placer seulement avec ordre et méthode, afin

de pouvoir suivre facilement les circuits en cas de dérangement. On fera également bien de se servir pour le fil de retour d'un fil de couleur spéciale.

Les fig. 6, 7, 8 et 9 donnent les schémas de pose : 1° d'une sonnerie et d'un bouton (fig. 6); 2° d'une sonnerie et de trois boutons sonnant sur cette même

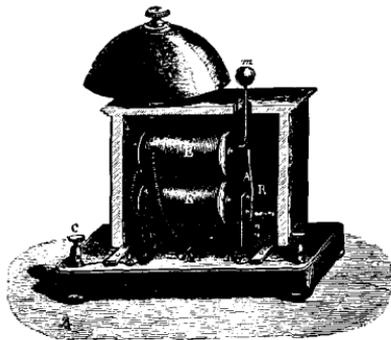


Fig. 10. — Sonnerie à trembleuse cubique. (Bréguet.)

sonnerie (fig. 7); 3° de deux sonneries et de deux boutons permettant de répondre (fig. 8); 4° enfin de six boutons, d'un tableau à six numéros avec disparition électrique et d'une sonnerie (fig. 9).

La pile est composée de trois couples Leclanché enfermés, comme on le voit, dans une boîte de bois. Pour les charger, il suffit de mettre dans le vase de verre 80 à 100 grammes de sel ammoniac; de placer ensuite dans ce vase le pôle charbon entouré de ou des plaques agglomérées et du porte-zinc si la pile

est à plaques agglomérées, et du vase poreux, s'il s'agit de couples à vase poreux; de mettre enfin le bâton de zinc; de verser de l'eau dans le vase en verre seulement jusqu'aux deux tiers de sa hauteur totale; de secouer légèrement quatre ou cinq fois, pour bien dissoudre le sel ammoniac. Il ne reste plus alors qu'à relier les couples entre eux, c'est-à-dire fixer le fil métallique faisant corps avec le zinc d'un couple sous la vis taraudant dans la tête de plomb du pôle charbon du couple suivant, et ainsi de suite. Le pôle charbon

ou positif du premier couple et le pôle zinc ou négatif du dernier forment le pôle positif et le pôle négatif de la pile. Pour entretenir ces piles il faut de maintenir le niveau de l'eau dans le vase de

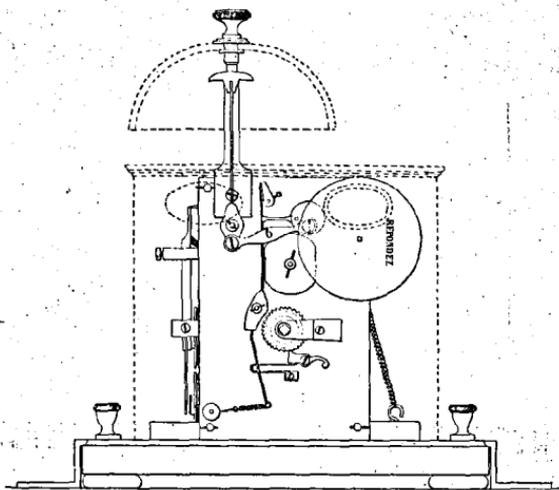


Fig. 11. — Sonnerie à rouage. (Vue du mécanisme.)

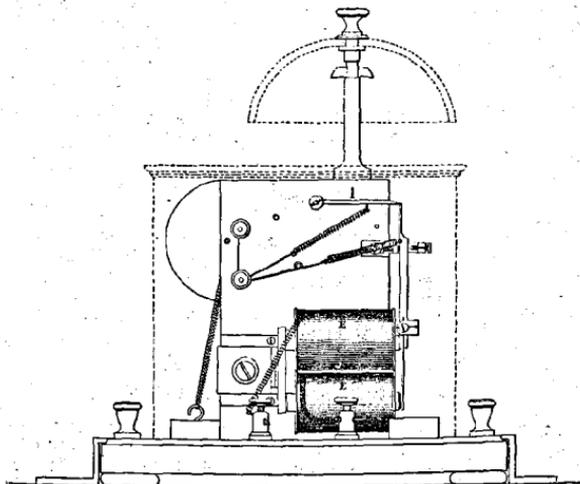


Fig. 12. — Sonnerie à rouage. (Vue du mécanisme.)

et d'ajouter 15 à 20 grammes de sel ammoniac quand la pile faiblit. Il faut également gratter le zinc lorsqu'il s'y forme des cristallisations.

Sonneries des postes télégraphiques et téléphoniques. — Les sonneries sont indispensables dans les BUREAUX ou postes télé-

graphiques et téléphoniques, pour avertir les stationnaires qu'il va y avoir une transmission de dépêche. On emploie pour cela des sonneries de plusieurs systèmes, suivant le mode de montage du poste. Nous en décrivons trois :

1^o La sonnerie à trembleur dite cubique, employée dans les bureaux de l'Administration des Postes et Télégraphes ;

2^o La sonnerie à rouage ;

3^o La sonnerie à relais.

La Sonnerie à trembleur dite cubique, représentée fig. 10, est tout à fait analogue à la sonnerie à trembleur qui a été décrite plus haut. On remarquera que l'une des extrémités de la bobine communique avec l'axe de l'ARMATURE ; l'autre extrémité est reliée,

comme d'habitude, avec un pôle de la pile, dont le second pôle est en communication avec le ressort butoir, qui est en contact avec l'armature lorsqu'elle est au repos. Grâce à cette disposition, c'est l'armature elle-même qui ferme le courant, de sorte que son mouvement et par suite le tintement de la sonnerie est continu pendant toute la durée du courant.

La Sonnerie à rouage, dont l'emploi tend à disparaître, se compose d'un rouage qui, par l'intermédiaire d'une bielle *b*, fait frapper un marteau sur un timbre.

Les fig. 11 et 12 représentent cette sonnerie vue sur sa face antérieure et sur sa face postérieure. Le déclenchement du rouage est opéré au moyen d'un électro-simant *E* (fig. 12). Après une série de plu-

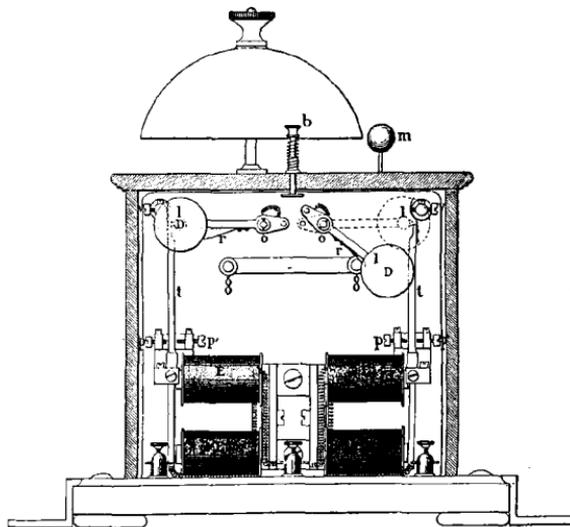


Fig. 13. — Sonnerie Faure à deux directions. (Disposition intérieure.)

sieurs coups de marteau, l'enclenchement est rétabli par l'un des mobiles, qui, au moyen d'une goupille dont il est muni, relève un petit levier *t*.

Un voyant portant le mot *répondez* tourne d'un quart de tour sous l'action d'un fort ressort à boudin à chaque déclenchement du rouage et le mot *répondez* apparaît derrière une lunette ouverte dans la boîte. Ce voyant, que l'on efface en tournant une petite clef, indique aux agents qu'un appel leur a été fait pendant leur absence.

La sonnerie à rouage ne sert que pour une direction ; elle doit être remisée de temps en temps avec une clef analogue à celle d'une pendule.

La Sonnerie à relais présente cette particularité que toute attaque faite par le poste correspondant a pour effet de déterminer, par l'intermédiaire d'un RELAIS, un tintement continu de la sonnerie au poste attaqué, tant que l'agent de ce poste ne vient pas interrompre le courant de la PILE LOCALE.

Il existe des sonneries à relais de tous systèmes.

La fig. 13 donne la vue de la partie antérieure d'une sonnerie à relais, système Faure, dont l'emploi est assez répandu : on voit sur cette figure les deux électro-simants de ligne ou relais *E*, *E'* ; à la partie postérieure est placée la sonnerie trembleuse, dont la figure ne montre que le timbre et le marteau *m*. Chacun des relais est en relation avec une ligne. Ils fonctionnent d'ailleurs tous deux dans les mêmes conditions. Quand le courant passe dans l'électro-simant *E*, la tige *t* de l'armature laisse tomber le levier *lo*, qui pivote autour de son axe *o* ; le ressort *r* tombe sur le butoir *g* et ferme le circuit d'une pile locale ; la sonnerie trembleuse fonctionne alors tant que, au moyen du bouton *b*, on ne vient pas relever le levier *ol* et le remettre en prise sur la tige *t* de l'armature. Un plateau *D*, garni de papier porcelaine et monté sur le levier *ol*, indique quelle est la ligne qui a attaqué, en se présentant derrière

une fenêtre pratiquée dans la boîte qui recouvre l'ensemble. Il existe des sonneries Faure à une et à deux directions; le type à une direction, qui peu répandu, diffère de celui que nous venon

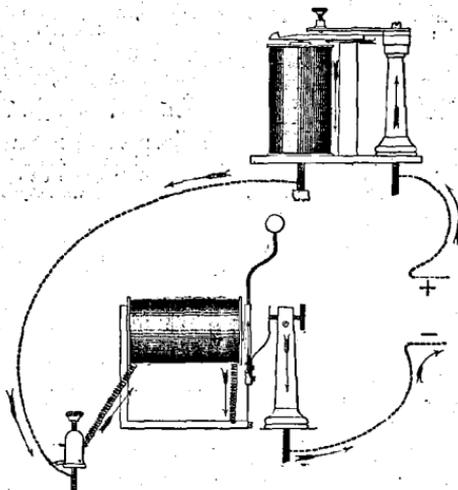


Fig. 14. — Marche du courant pour la première position du commutateur. (Sonnerie intermittente.)

décrite en ce qu'il ne comporte qu'un relais de ligne. Nous citerons encore la sonnerie à relais employée dans les postes télégraphiques de la Compagnie des chemins de fer de l'Est. Ce type, qui se construit

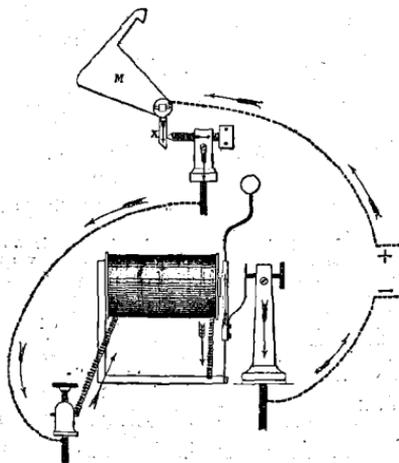


Fig. 15. — Marche du courant pour la deuxième position du commutateur. (Sonnerie continue.)

deux et trois directions, est muable, comme la sonnerie Faure, d'électro-aimants reliés à la ligne et d'une trembleuse fonctionnant sous l'action d'une pile locale dont le circuit est fermé par les relais; mais le système de déclenchement est très différent de celui de la sonnerie Faure. Les fig. 14 et 15 permettent d'expliquer

comprendre le principe. L'armature du relais se termine par un crochet qui retient une pièce métallique M; quand l'armature est attirée, elle s'abaisse et dégage la pièce M qui tombe, par son poids, à travers une ouverture pratiquée dans la boîte. Lorsque aucun courant ne passe plus dans le relais, on enclenche de nouveau le voyant M en le relevant avec le doigt. Les diagrammes représentent le marche du courant local qui actionne la trembleuse. Ils montrent que, suivant la position d'un commutateur dont est muni la sonnerie, celle dernière fonctionne d'une façon intermittente ou d'une façon continue. Dans le premier cas (fig. 14), le circuit est fermé par l'armature touchant le noyau du relais; dans le second (fig. 15), une pièce X, solidaire du voyant M, vient au contact d'un battoir fixe.

Sonnerie d'urgence. — La Compagnie du chemin de fer du Nord emploie dans ses postes

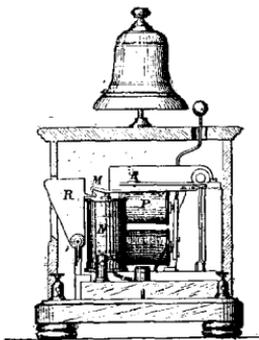


Fig. 16. — Sonnerie d'urgence.

télégraphiques des sonneries dites d'urgence ou d'alarme, pour avertir les stationnaires de l'envol, par un des postes correspondants, d'un appel auquel ils doivent répondre toute affaire cessante. Ces sonneries, qui sont de véritables appareils par inversion de courant, et dont la fig. 16 donne la vue intérieure, se composent d'une palette M placée au-dessus d'un électro-aimant bobiné; cette palette est aimantée et ne peut être repoussée que par un courant négatif. Un petit voyant R peint en rouge, commandé par l'armature, établit, en apparaissant au dehors de la boîte, une communication avec une pile locale faisant marcher la sonnerie trembleuse, qui fonctionne aussi longtemps que le voyant n'est pas relevé. Ces sonneries sont placées sur le trajet du fil commun qui met en relation avec la terre tous les appareils de réception du poste, récepteurs et sonneries.

En temps ordinaire, les postes se servent pour leurs transmissions d'un courant positif qui ne fait pas marcher les sonneries d'urgence. Dans les postes de secours, les piles sont montées de façon que toute attaque fasse déclencher la sonnerie d'urgence. Quand un poste veut appeler le poste correspondant d'urgence, il inverse le courant à l'aide d'un INVERSEUR.

II. — SONNERIES ACTIONNÉES PAR DES MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

Au lieu d'employer des courants de pile pour actionner les sonneries d'appel, on peut se servir de petites machines magnéto-électriques. Ces machines consistent essentiellement en une ou plusieurs BOBINES que l'on fait tourner devant les pôles d'un AIMANT; mais pour produire ce mouvement il faut un ensemble de roues d'engrenage qui rendent les appareils complexes.

M. Abdank-Abakanowicz a eu l'idée de remplacer le mouvement de rotation par un mouvement d'oscillation et de réduire ainsi l'appareil à une simple bobine de cuivre isolé oscillant entre les branches d'un aimant. Les courants alternatifs produits par ce mouvement viennent actionner une sonnerie construite de la manière suivante: entre deux aimants recourbés peut osciller une bobine à noyau de fer plat; sur cette

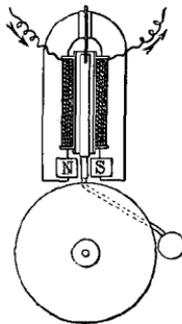


Fig. 17.

bobine est fixé le battant de la sonnerie, qui frappe contre deux timbres placés à la partie inférieure de l'appareil. Le transmetteur envoyant des courants alternativement positifs et négatifs, à chaque émission du courant le noyau de la bobine change de polarité et est attiré dans un sens ou dans l'autre. Ces mouvements étant assez rapides et exécutés avec assez de force produisent sur les timbres un bruit égal à celui des sonneries électriques ordinaires.

Avec ce système, on peut donc faire marcher une sonnerie sans pile, et on ne demande à la main qu'un travail analogue à celui qu'elle fait pour presser le contact d'une sonnerie ordinaire. Le système est également avantageux en ce qu'il permet de faire fonctionner une sonnerie à longue distance en raison de la grande tension des courants induits.

Un autre modèle de sonnerie est représenté fig. 17. Dans l'intérieur de la bobine réceptrice se trouve un noyau de fer doux fixé par son extrémité supérieure à un ressort et portant à son extrémité inférieure un marteau. Cette extrémité inférieure du noyau est placée entre deux projections des pôles nord et sud d'un aimant disposé soit sous la sonnerie, soit au-dessous de la bobine, caché par le socle. On comprend dès lors que, comme dans le cas précédent, sous l'action des courants alternativement positifs et négatifs en-

voqués par le transmetteur, le noyau de la bobine change de polarité et est attiré dans un sens et dans l'autre, ce qui produit des battements rapides sur le timbre.

Ce système très ingénieux n'est malheureusement pas pratique, au point de vue du prix, dans le cas d'une installation comprenant une seule sonnerie et plusieurs boutons, parce qu'il faudrait autant de petites machines magnétos qu'il y aurait de boutons d'appel.

Sonnerie supplémentaire. — On appelle ainsi des sonneries magnéto-électriques intercalées directement dans une LIGNE TÉLÉPHONIQUE ou des sonneries à courant continu actionnées par une PILE LOCALE destinées à faire entendre un appel à deux endroits différents.

Sonnette d'essai pour piles. — Appareil permettant de s'assurer de l'état d'une pile. Il existe

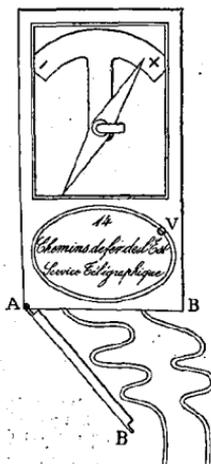


Fig. 18.

Sonnette d'essai, système Desruelles. (Vue extérieure.)

plusieurs modèles de ces appareils, que l'on fait généralement portatifs; mais leur principe est toujours le même. Une sonnette d'essai pour piles se compose essentiellement d'un petit trembleur réglé de façon à fonctionner avec un seul couple de pile en bon état; lorsque le couple a perdu une notable partie de sa force électromotrice, l'appareil ne vibre plus; il permet donc de s'assurer rapidement du bon état d'une pile en touchant successivement les deux pôles de chaque couple avec la sonnette d'essai.

La fig. 18 représente la sonnette de M. Desruelles; elle comporte, en outre du trembleur, une aiguille aimantée que l'on aperçoit sous un verre; lorsque le courant passe dans le trembleur, cette aiguille est déviée à droite ou à gauche, suivant le sens du courant. Deux fils souples, renfermés dans un compartiment qui ferme le couvercle AB, servent à relier l'appareil au zinc et au charbon de chaque couple.

La sonnette d'essai est une boîte parallélépipédique ayant $0^m,043 \times 0,08 \times 0,025$.

La fig. 19 représente en coupe la sonnette d'essai pour piles, construite par M. Postel-Vinay. Elle compose d'un tube de cuivre nickelé, à l'intérieur duquel se trouve monté le trembleur dont le mart frappe sur la paroi intérieure du tube. Deux pet

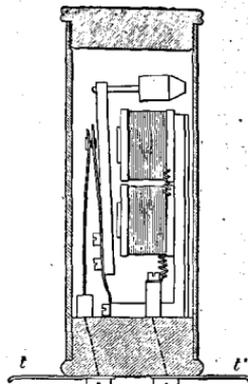


Fig. 19. — Sonnette d'essai, système Postel-Vinay.

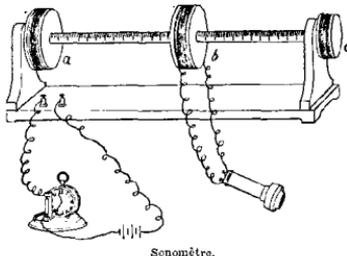
lames de cuivre *t* et *t'* servent à prendre le contact aux pôles de la pile. La sonnette a $0^m,070$ de hauteur et $0^m,036$ de diamètre.

SONOMÈTRE ou AUDIOMÈTRE. — Appareil inventé par M. Hughes et ayant pour but de mesurer l'intensité d'un son, de le graduer depuis 6^e de silence absolu jusqu'à 200^e, limite du premier appareil construit, et correspondant à une intensité peu faite ment définie, qui dépend seulement de la source de son employée.

L'appareil se compose de trois couples Daniell reliés à un microphone placé sur le socle d'une pendule; le tic tac régulier produit des courants d'intensité variable dans le circuit, qui est complété par des bobines *a* et *c* placées à environ $0^m,30$ d'intervalle portant l'une 9 mètres de fil, l'autre 100 mètres et enroulées de manière à induire des courants de sens inverse sur une troisième bobine *b* contenant aussi 100 mètres de fil dont les extrémités sont reliées à un téléphone. Les deux bobines *a* et *c* étant fixes la bobine *b* peut se mouvoir le long d'un curseur gradué, aux extrémités duquel sont placées les deux premières bobines. La bobine *a*, plus grande que *c*, aura une influence plus marquée, ce qui a pour but de reporter vers *c* le zéro de l'échelle et, par suite, de donner un plus grand développement à la graduation si on fait glisser la bobine *b* le long du curseur gradué, en la rapprochant de *a*, il se trouvera un point pour lequel les courants induits par *a* et *c* dans *b* se feront équilibre, et le téléphone ne recevra plus aucun courant restera muet. Ce point est le zéro. Si l'on déplace *b* peu à peu, le bruit du tic tac se fera entendre d'abord très faiblement, puis ira en augmentant jusqu'au maximum 200^e lorsque *b* viendra se plaquer contre *a*. L'appareil est tellement sensible

qu'il suffit de déplacer la bobine *b* d'un demi-degré pour rendre le téléphone muet.

Les expériences du professeur Hughes lui-même et du Dr Ward Richardson ont montré les ressources que cet appareil offre aux physiologistes et aux médecins. Cinquante observations, faites sur différentes personnes dès 1880, avaient donné presque tous les degrés de l'échelle, depuis 1°, correspondant à une oreille extrêmement fine, jusqu'à 200°, correspondant à la surdité complète. Une oreille moyenne donne de



4° à 10°. En général, les droitiers entendent mieux de l'oreille droite et les gauchers de l'oreille gauche.

La poitrine remplie d'air et le souffle retenu augmentent pour quelques secondes la subtilité de l'ouïe;

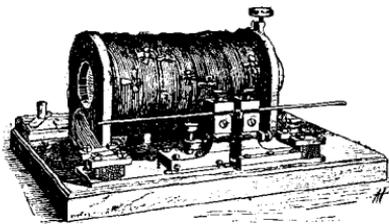


Fig. 1. — Vue perspective d'une Bobine d'induction.

aucune raison pour qu'avec de puissants appareils on ne puisse souder de fortes barres.

Le fil de cuivre le plus épais que l'on ait soudé électriquement avait un diamètre de 0^m,011; on est arrivé à souder également des fils d'acier de 0^m,022 de diamètre en employant pour cela des courants d'une intensité de plus de 20.000 AMPÈRES. La soudure électrique peut être avantageusement appliquée aux travaux si délicats de la joaillerie; l'opération s'exécute, en effet, avec une grande rapidité.

Les appareils produisant l'électricité doivent varier avec la nature du travail à effectuer. Quant aux appareils accessoires, ils doivent être combinés de façon à éviter toute déperdition du courant très intense que l'on emploie (en y arrive en appliquant sur les pièces à souder de solides plaques conductrices); à établir un contact parfait entre les pièces à souder pendant le passage du courant; enfin à maintenir ces pièces dans une position invariable.

la maladie l'affaiblit. Un abaissement dans la pression atmosphérique diminue la puissance de l'ouïe de 2 à 4°.

L'audiomètre se prête au diagnostic des maladies, à l'appréciation de la valeur relative des organes de l'ouïe ou des procédés artificiels d'audition, à l'étude de l'influence des agents qui activent ordinairement la circulation du sang, etc.

On désigne aussi plus spécialement sous le nom de **sonomètre** la bobine curvée qui fait partie de la **BALANCE D'INDUCTION** voltaïque de Hughes.

SOUDURE ÉLECTRIQUE. — Procédé de soudure des métaux imaginé par M. Eilhu Thomson, consistant à placer les deux pièces à souder en contact l'une avec l'autre et à les faire traverser par un courant électrique d'une grande intensité. On obtient ainsi une température très élevée qui détermine la fusion et par suite la soudure des pièces. Cette idée est réalisée au moyen d'un générateur secondaire dont la bobine primaire est en circuit avec une DYNAMO à courants alternatifs. La bobine secondaire se compose de quelques spires d'un gros câble en cuivre de résistance négligeable; ses extrémités sont attachées à deux blocs métalliques munis chacun d'une pince dans laquelle on introduit l'une des pièces. Une résistance auxiliaire et un commutateur sont intercalés dans le circuit primaire et permettent de régler le courant suivant les besoins.

Ce procédé a été appliqué pour souder des fils de cuivre et de fer composant des câbles. La soudure était assez forte pour que les fils aient résisté à des torsions et à des flexions dans tous les sens, et il n'y a

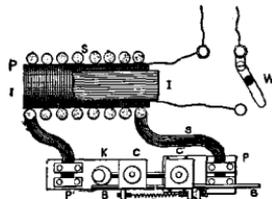


Fig. 2. — Coupe longitudinale.

Le courant électrique est produit par une grosse bobine d'induction dont le fil primaire est parcouru par les courants engendrés par une machine dynamo-électrique à courants alternatifs ou par celui fourni par une batterie secondaire de faible résistance.

La *fig.* 1 donne la vue perspective d'une bobine de ce genre, et la *fig.* 2 représente la coupe longitudinale de cet appareil, qui se compose : d'un faisceau de fils de fer I de 0^m,30 de longueur environ et de 0^m,0625 de diamètre formant le noyau d'une bobine P de fils traversés par les courants de la machine dynamo. La bobine secondaire S est composée de 64 fils. P, P' sont des plaques en cuivre sur lesquelles on a monté des mordaches ou pinces C, C' qui tiennent les pièces à souder. L'une de ces pinces, C, peut glisser sur la plaque de support P' et se rapprocher par suite de la pince C sous l'impulsion d'un ressort Z dont on règle la tension à volonté. B, B' représentent les barres que l'on veut souder. La came

K permet d'éloigner la pince C' pendant que l'on dispose les barres B et B' dans leurs supports.

La résistance de la bobine secondaire considérée seule est d'environ 0,0045 ohm.

Les fig. 3 et 4 donnent la vue d'un autre appareil

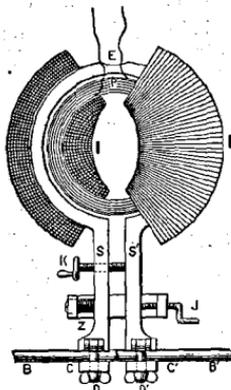


Fig. 3.

disposé pour souder des pièces de plus fortes dimensions.

La bobine primaire P est une sorte de grande bague d'environ 0^m,30 de diamètre, 0^m,0625 de largeur et

0^m,0188 d'épaisseur. La bobine secondaire S S' constituée par une barre de cuivre épaisse courbée en forme d'anneau et dont les deux extrémités par lesquelles constituent les deux pinces C, C' qui portent les barres B, B' à souder. La bague S S' est écartée en E, ce qui lui donne une certaine élasticité et permet d'éloigner ou de rapprocher les deux pinces C, C'. Ces mouvements d'éloignement ou de rapprochement sont obtenus au moyen d'un puissant écrou et d'un ressort Z. La barre courbe S S' qui constitue le circuit secondaire de la bobine est entourée de lames de fer qui forment le circuit magnétique. La résistance du premier de ces circuits est de 0,06063 OHM environ. Un courant ayant une intensité de 20 AMPÈRES et une force électromotrice de 600 volts, envoyé dans le circuit primaire, engendre dans le circuit secondaire un courant d'induction d'une force électromotrice de 1 volt et d'une intensité de 12.300 ampères.

La fig. 5 donne la vue d'une machine à courants alternatifs spécialement construite pour exciter la bobine d'induction. Cette machine, qui tourne à une vitesse de 4.800 tours par minute, absorbe une force de 25 chevaux-vapeur au maximum. Elle présente les caractères suivants : le courant est interrompu dès que la soudure est terminée; la force de ce courant est réglée de façon à ne pas échauffer brusquement les pièces à souder, surtout lorsqu'elles sont de petites dimensions et faites avec un métal très fusible; elle remplit cette condition en intercalant une résistance convenable dans le circuit primaire. On a soin de polir préalablement les extrémités des pièces à souder afin d'assurer un bon contact.

Un autre procédé électrique est dû à M. de Benardos. C'est en 1881 qu'il fit, dans le laboratoire de M. de Kabath, les premiers essais d'application de l'énergie électrique à la soudure autogène des lames de plomb des ACCUMULATEURS. Les résultats obtenus

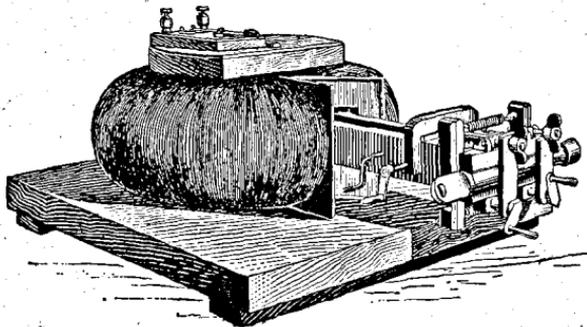


Fig. 4.

ayant été satisfaisants, M. de Benardos appliqua son procédé à d'autres métaux et fut ainsi amené à créer une industrie nouvelle; il fonda la Société pour le travail électrique des métaux. Ce procédé consiste à relier d'une manière quelconque les pièces à souder au pôle négatif d'une source électrique d'un POTENTIEL SUPÉRIEUR à la POURCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE DE L'ARC VOLTAÏQUE; en simplifié, dans la pratique, cette fixation en reliant une table de fonte (appelée *enclume électrique*) au pôle négatif de la source d'élec-

tricité, et c'est sur cette table qu'on pose les pièces à souder; on peut ainsi déplacer ou incliner ces pièces sans interrompre la communication électrique, ce qui abrège et facilite beaucoup les opérations. Le pôle positif de la source d'électricité est relié par un conducteur souple à un crayon à l'amiante ou charbon de corne ou en aggloméré qui est maintenu par un manche isolant permettant à l'ouvrier de le manœuvrer facilement. Les détails suivants sont empruntés à la Société des Ingénieurs civils. L'intensité du cou-

rant employé doit nécessairement varier suivant la nature du travail à effectuer et la grosseur des pièces à souder. En pratique, le courant électrique est fourni par une machine dynamo; mais, comme il faut faire varier l'intensité de ce courant et qu'il serait nuisible

de changer l'allure de la dynamo, on emploie cette dernière à charger une batterie d'accumulateurs d'une façon permanente; et on prend sur cette batterie le nombre d'éléments secondaires nécessaire suivant l'effet à produire. Il faut, en général, 28 accumulateurs,

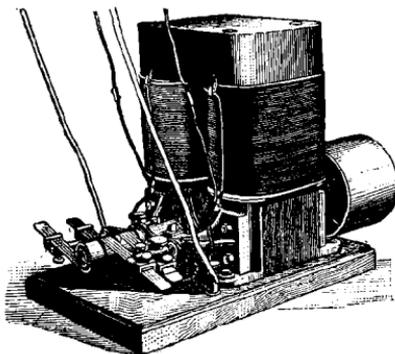


Fig. 5.

geur planté, en série, pour obtenir l'intensité voulue. Enfin on intercale dans le circuit de chaque enclume une résistance variable de façon à régler l'intensité suivant les besoins.

La fig. 6 représente le schéma de la batterie de l'atelier de Benardos à Saint-Petersbourg. Le courant de la dynamo D passe dans les accumulateurs B B... au moyen des conducteurs a a... La batterie

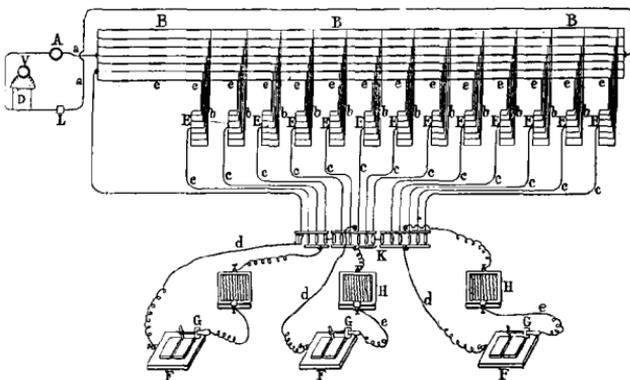


Fig. 6.

est divisée en plusieurs groupes e, e, e...; les conducteurs b b... dirigent l'électricité dans les commutateurs de réunion en quantité E E; de chaque commutateur, des conducteurs c c... amènent le courant dans le commutateur général K; de ce commutateur un conducteur d se dirige vers l'enclume F et l'autre

e vers le charbon à travers le rhéostat H. Les commutateurs E E... sont organisés de manière que, en ôtant une cheville, on isole un nombre connu d'accumulateurs. Le commutateur général K est triple pour les trois charbons; les conducteurs y entrent dans des bornes fixées à des tringles verticales qui sont assem-

blées à des tringles horizontales au moyen d'encoches; de place en place, des ouvertures coniques sont percées dans ces tringles pour recevoir les chevilles. Tout l'appareil est établi sur une table de marbre fixée au mur. En mettant les chevilles dans les différentes ouvertures, on obtient plusieurs combinaisons d'assemblage d'accumulateurs. En A est un ampèremètre, en V un voltmètre, en L un interrupteur de courant. Les rhéostats H sont composés chacun de cinq cylindres en pâte de graphite, placés dans un cadre de bois.

Chaque cylindre a une résistance de 1/5 d'ohm, unissant ces cinq résistances au moyen d'un commutateur, soit en tension, soit en quantité ou par group on peut mettre en circuit une résistance variant de 1/25 d'ohm. Le conducteur d du pôle négatif est à l'enclosure F ou directement au métal au moyen pièces mobiles, et le conducteur e du pôle positif est fixé dans un tube en cuivre rouge G, représenté à plus grande échelle (fig. 7). A l'extrémité de tube est placé le charbon dans une tenaille métallique

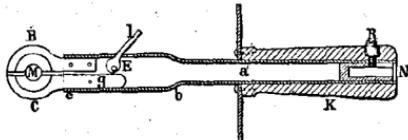


Fig. 7. — Coupe, suivant l'axe, d'un Porte-charbon.

BC, d'où on peut le retirer facilement. En K se trouve le manche qui permet de manier le charbon; le fil conducteur e entre dans le serre-fil R N.

Le principe de la méthode consiste, comme on le voit, à créer un arc voltaïque, sorte de chalumeau électrique, entre les pièces métalliques à souder et le crayon de charbon tenu par l'ouvrier. L'éclat de cet

arc est gênant et même dangereux; aussi les ouvriers protègent-ils leur vue en tenant d'une main un écran garni d'un verre coloré, tandis qu'ils manœuvrent de l'autre main le crayon à souder. Voici quelques exemples d'application de cette méthode.

Si l'on a à souder deux feuilles de tôle dans le sens vertical (fig. 8), on maintient ces feuilles dans un a

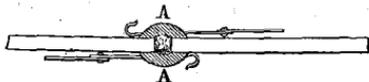
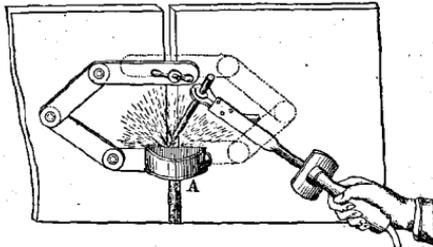


Fig. 9.

pareil à charnière composé de deux parties semblables qui appliquent contre le joint, de chaque côté, deux demi-cylindres pleins A en charbon de gaz, constituant ainsi un moule dans lequel on met des morceaux de fer, que l'on fond au moyen de l'arc voltaïque, comme le montre la figure; on remonte l'appareil à charnière au fur et à mesure de l'avancement du travail.

Si on veut souder des feuilles en dessous (fig. 9), pour éviter que le métal ne tombe en coulant, on établit un électro-aimant au-dessus du joint pour retenir le fer. Le même électro-aimant remplace l'étau pour souder deux pièces à angle droit. Il sert à maintenir la pièce verticale pendant l'opération.

Le procédé permet de percer des trous dans des pièces métalliques; en introduisant ensuite une tige

métallique dans ces trous et en faisant fondre ses extrémités on a une rivure électrique.

On applique la méthode de M. de Bernardos à la construction de réservoirs métalliques, fontaines élastiques, etc., destinés à l'emmagasinement et au transport des essences de pétrole, de sulfure de carbone, de alcools, etc., à la construction des tubes en fer et en cuivre, des meules légers en fer et en cuivre pour jardins, caves, etc. Au Creuzot, on répare par la soudure électrique des pièces coulées présentant des soufflures, et, au chemin de fer du Nord des pièces en bronze défectueuses.

Il y a donc là une ressource précieuse dans bien des cas, à la condition d'en faire un emploi judicieux. Toutefois une objection se présente, c'est l'igno-

rance où l'on est de la nature et de la perfection de la soudure, de l'allération qu'elle peut ou non faire subir au métal. M. Polonceau disait à ce sujet, dans une communication faite à la Société des Ingénieurs civils au commencement de l'année 1888 : « Le calcul apprend qu'en employant, pour le fer et l'acier, un courant de 10 volts et de 25 ampères, on produit dès la deuxième seconde une élévation de température

correspondant à 3.800°. Il est évident qu'un métal aussi brusquement fondu se modifie : les analyses ont prouvé qu'il perd la molliété du carbone et du manganèse et la totalité du silicium; l'examen montre que le métal a cristallisé et devient facilement poreux. Il conserve assez bien la résistance à la traction, mais l'allongement est presque nul. Si l'on peut marteler la pièce, on remédie dans une certaine

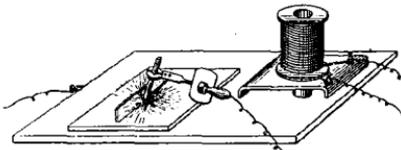


Fig. 9.

mesure à cet inconvénient. » Ainsi donc l'application pratique du procédé offre certaines difficultés que l'on arrivera certainement à surmonter.

SOUNDER ou Parleur. — Appareil destiné à recevoir les dépêches télégraphiques au son. (V. TÉLÉGRAPHIE, Appareils acoustiques.)

SOUPE ÉLECTRIQUE. — Nom donné par M. Gauguain à un appareil de son invention destiné à montrer que l'électricité peut passer d'une électrode couverte en partie d'une substance isolante à une autre électrode nue. Le passage inverse n'a pas lieu. Cette observation a été mise à profit pour doubler les courants lancés alternativement en sens contraire dans le même circuit. (*Académie des Sciences*, mars 1855 et janvier 1856.)

Soupe électrique. Méth. — Riess a donné ce nom à une pointe non isolée et placée dans le voisinage d'un corps électrisé. L'écoulement d'électricité contraint qui se fait par la pointe neutralise en partie celle du corps. On conçoit, en effet variant avec la distance, que l'on puisse au moyen de cette disposition maintenir la tension d'un conducteur au-dessus d'une certaine limite. L'emploi de la soupe trouve sa place dans beaucoup d'expériences avec les machines à influence; pour la machine de Holtz notamment, il a l'avantage de régulariser le débit. Dans la FRANKLINISATION médicale, la soupe est utilisée pour modérer la charge du tabouret et pour régler le maximum de longueur des étincelles.

SOURDINE. — Appareil employé sur les lignes télégraphiques et téléphoniques pour arrêter les vibrations longitudinales et empêcher par suite la production de sons gênants, surtout lorsque les fils sont fixés contre des bâtiments ou des maisons.

Voici les principaux moyens reconnus les plus efficaces pour étouffer ces sons :

1° On peut arrêter le fil à un poteau et le relier à un câble constitué par un ou plusieurs fils de cuivre enroulés de gutta-percha et d'un goupille en ruban goudronné; c'est ce câble qui entre dans le poste télégraphique.

2° On peut serrer le fil de fer galvanisé entre deux tasseaux de bois de 0^m,40, à 0^m,50 de longueur; le serrage doit être très énergique; il s'obtient au moyen de plusieurs vis. Ce système est surtout efficace

lorsqu'on répète l'opération que nous venons d'indiquer sur deux ou trois portées de fils. La pose des tasseaux doit se faire à une certaine distance des supports.

3° On peut placer contre le fil, dont les vibrations sont gênantes, un bâton de bois que l'on serre aussi énergiquement que possible, contre ce fil à l'aide d'un deuxième fil de fer de 4 millimètre de diamètre.

SOUTIRER L'ÉLECTRICITÉ. — Faire écouler l'un des fluides électriques par des pointes. Ainsi, dans les machines électro-statiques, telles, par exemple, que la machine à plateau de verre de Ramezou, le fluide négatif s'accumule sur les dents des machoires, d'où il s'échappe sous forme d'aiguilles et arrive sur le plateau; ce fluide négatif est donc soutiré par le plateau.

SPECTRE MAGNÉTIQUE. — Synonyme de FANTÔME MAGNÉTIQUE. (V. aussi ANANT.)

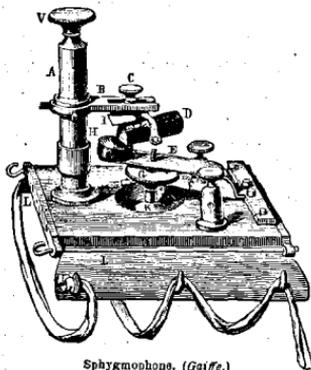
SPECTROPHOTOMÈTRE. — Appareil destiné à effectuer des mesures photométriques pour lampes à incandescence et qui permet de faire porter les comparaisons entre la lampe électrique et le bec de gaz pris pour étalon, non seulement sur la quantité de lumière émise, mais aussi sur les différentes radiations du spectre. Dans le spectrophotomètre de D^r Kruss, la lumière du bec de gaz et celle de la lampe à incandescence sont projetées sur deux prismes à réflexion rectangulaires et dirigées ainsi normalement à l'axe du photomètre; la lumière d'une des sources lumineuses est située un peu plus haut que celle de l'autre. Les deux cônes lumineux passent à travers deux fentes placées également l'une au-dessus de l'autre, et dont on peut faire varier la largeur indépendamment l'une de l'autre, puis ils rencontrent un prisme de flint glass d'un angle de dispersion de 60° environ. On obtient ainsi deux spectres et, comme les mêmes couleurs se trouvent les unes au-dessus des autres, il est facile de les comparer au point de vue de leur intensité lumineuse. On observe les spectres au moyen d'une lunette. On peut faire la comparaison : 1° en plaçant le photomètre entre les deux sources de lumière, de façon que toutes deux paraissent d'une intensité égale, les ouvertures des deux fentes étant elles-mêmes égales, puis en prenant la distance relative entre le spectrophotomètre et les sources de lumière comme base du calcul pour

le rapport des intensités lumineuses; 2° en laissant le spectrophotomètre immobile et en faisant varier la largeur d'une des fentes jusqu'à ce que l'éclaircissement paraisse égal et en prenant ensuite comme base de calcul le rapport des largeurs des deux fentes. En substituant un photomètre ordinaire au spectrophotomètre, on peut examiner rapidement l'une après l'autre l'intensité totale et l'intensité des radiations séparées.

SPECTRO-TÉLÉGRAPHIE. — Système de TÉLÉGRAPHIE OPTIQUE imaginé par M. P. de La Cour.

SPHYGMOGRAPHE (du grec *sphugmos*, pouls; *graphé*, j'écris). — Appareil enregistreur des battements du pouls. Cet appareil, imaginé par le professeur J. Marey, est purement mécanique.

SPHYGMOPHONE (du grec *sphugmos*, pouls; *phônè*, bruit). — Appareil imaginé par le Dr Boudet de Paris, pour explorer le pouls avec l'oreille et ausculter tous les bruits qui se produisent à l'intérieur du



Sphygmophon. (Gatfe.)

vaisseau. L'instrument se compose essentiellement d'un microphone à charbon H, D. Le charbon supérieur D est équilibré sur un axe passant par son centre de gravité et pressé légèrement sur le charbon H par un ressort en papier plié I. Le charbon inférieur est porté par un ressort E dont l'extrémité est vissée sur l'embase de l'appareil. Une pièce K réglable au moyen d'une vis micrométrique G peut s'appliquer sur l'artère à étudier. Un cordon souple L sert à fixer tout l'appareil sur le membre du patient. Le microphone se intercale dans le circuit d'une PILE et d'un TÉLÉPHONE.

SPIRALE ROGET. — Conducteur enroulé en hélice de façon que les spiras ne se touchent pas, placé verticalement, et dont l'extrémité inférieure plonge dans du mercure. Lorsqu'on met l'extrémité supérieure de ce conducteur en relation avec le pôle d'une PILE, et le mercure en relation avec l'autre pôle de la pile, il se produit entre les spiras des attractions qui ont pour effet de raccourcir la spirale; l'extrémité du conducteur qui plongeait dans le mercure est soulevée, le circuit est interrompu, la spirale se détend, le conducteur plonge de nouveau, le circuit est de

nouveau rétabli, et ainsi de suite. Il en résulte un mouvement de tremblement pour la spirale.

SPIROGRAPHE. — Appareil médical exposé en 1881 par le professeur Holmgren, et dans lequel l'électricité est mise en jeu pour ouvrir des sonaps qui, en temps opportun, font communiquer l'intérieur de l'appareil avec l'air extérieur. L'action de l'électricité est provoquée par l'artifice suivant : à l'endroit où viennent se terminer de larges tubes servant l'inspiration et à l'expiration aboutit un tube fin en caoutchouc qui, par son autre extrémité, arrive dans un petit tambour analogue aux tambours enregistres : c'est le déplacement de la paroi au moment de l'expiration qui ferme le circuit traversé par un courant électrique. (*Rapports du Jury, Expositio de 1881.*)

SPOT (mot anglais signifiant *tache, marque*). — Nom donné à l'image produite sur un écran par le miroir du récepteur de Thomson. (V. TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE.)

Spottiswoode (William), savant physicien anglais et mathématicien de la plus haute valeur mort à l'âge de cinquante-huit ans, au mois de juillet 1883. Il était alors président de la Société royale de Londres. Spottiswoode était plus connu dans le monde des électriciens par ses études sur la décharge électrique. Possesseur d'une grande fortune, il consacrait une partie à ses travaux scientifiques et pouvait ainsi réaliser des expériences devant les frais desquels des universités même eussent reculé. Il était membre correspondant de l'Académie des Sciences. (*Lumière électrique.*)

SPRING-JACK. — Synonyme de JACKEMPE.

STATION CENTRALE D'ÉLECTRICITÉ. — On désigne sous ce nom une usine comprenant des machines génératrices d'électricité et la force motrice nécessaire pour les mettre en activité. L'électricité ainsi produite est ensuite envoyée, par un réseau de CONDUCTEURS, aux différents endroits où elle doit servir soit pour l'ÉCLAIRAGE (éclairage par lampes à ARC ou à INCANDESCENCE), soit pour actionner des récepteurs dont le mouvement est directement ou indirectement utilisé. (V. TRANSPORT DE FORCE.)

On voit que, au point de vue de l'éclairage public, la station centrale peut être comparée à une usine à gaz et le réseau de conducteurs à une canalisation.

Les stations centrales tendent à se multiplier. Dans les pays où il existe des forces hydrauliques, en Suisse, par exemple, il est facile de les utiliser à la production de l'électricité. Aussi rencontre-t-on dans ce pays nombre de villages, d'hôtels isolés et même de hameaux éclairés électriquement. Mais, lorsqu'on est forcé d'installer des machines à vapeur pour actionner les machines dynamo-électriques, l'exploitation devient coûteuse, attendu que, sauf pendant deux ou trois heures de la journée, l'usine ne travaille pas en plein. Pendant dix-huit heures sur vingt-quatre, la moitié au moins ou les deux tiers au plus du matériel de la station centrale ne trouvent pas leur emploi.

On peut atténuer dans une certaine mesure ces inconvénients :

1° En essayant, comme cela se pratique couramment en Amérique, d'utiliser la station centrale pour distribuer de l'énergie électrique pendant les heures où l'on n'a pas besoin du courant pour l'éclairage. C'est ainsi que l'on fait marcher des machines à condre, des machines-outils, etc.

2^e En combinant l'installation de façon qu'avec un matériel restreint, insuffisant pour alimenter la canalisation directement, on puisse cependant charger des ACCUMULATEURS qui, pendant la période relativement courte de l'éclairage, peuvent débiter l'énergie dont on a besoin.

Au point de vue technique, le problème de l'éclairage électrique par stations centrales est relativement facile, si les lampes à actionner sont distribuées à proximité de cette station; il se complique lorsque celle-ci doit être établie à une certaine distance, comme cela se présente dans la majorité des cas, car alors on ne peut faire usage de courants de faible tension, à moins d'augmenter outre mesure la sec-

tion des conducteurs, ce qui serait trop onéreux. Un moyen de résoudre la difficulté consiste à se servir de TRANSFORMATEURS, c'est-à-dire d'appareils recevant des courants de haute tension et produisant par INDUCTION des courants de faible POTENTIEL propres à être utilisés dans les habitations.

EXEMPLES D'INSTALLATIONS DE STATIONS CENTRALES POUR L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

Station centrale de Temesvar. — La *fig. 1* donne le plan général de l'usine et d'une partie de la distribution. De la station partent quatre cir-

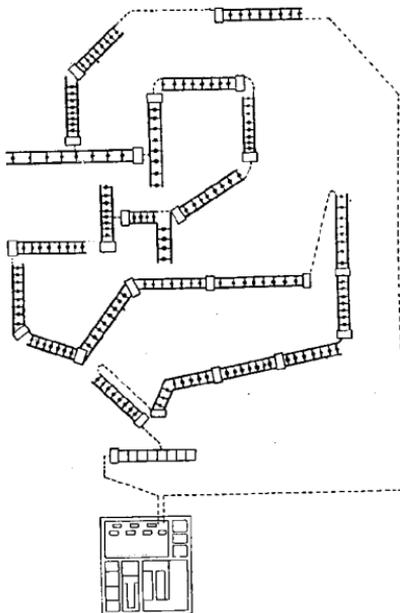


Fig. 1. — Station centrale de Temesvar (Autriche-Hongrie).

cuits distincts desservis chacun par une dynamo séparée (un seul de ces circuits est représenté sur la figure). Les lampes sont groupées en plusieurs séries; dans chaque groupe les lampes, montées en quantité, sont au nombre de 8. La station centrale de Temesvar nous offre un exemple de l'emploi direct du courant électrique fourni par les dynamos.

Station centrale de Pearl street, à New-York. — Cette station, établie par la Compagnie Edison dès le début de l'application des lampes à incandescence à l'éclairage public et particulier, dessert depuis plusieurs années plus de 12.500 lampes, et le courant électrique est utilisé

en partie, dans la journée, pour actionner des moteurs.

Station centrale de Milan. — Cette station a été établie sur l'emplacement de l'ancien théâtre de Sainte-Radegonde; c'est une des plus importantes qui existent. Elle a commencé à fonctionner le 15 juin 1883 et dessert en 1888 plus de 10.000 lampes à incandescence et 1.000 lampes à arc.

Station centrale de Saint-Étienne. — Nous donnons ci-dessous un résumé d'une étude publiée en 1888 par M. H. Fontaine, dans la *Revue industrielle*, sur l'installation de la station centrale de

Saint-Etienne, qui peut être considérée comme un type à imiter. Cette usine, créée par la Société Edison, est représentée en plan *fig. 2*. Elle peut fournir 2.600 ampères; elle comprend quatre chaudières à foyer intérieur, genre Farco, de 90 mètres de surface de chauffe, timbrées à 12 kilogrammes, et quatre mo-

teurs compound en tandem E, fonctionnant à haute pression, avec détente dans les deux cylindres. I manivelles font 160 tours par minute. Chaque moteur développe normalement de 70 à 75 chevaux effectifs la pression de 6 kilogrammes; on peut obtenir 180 490 chevaux effectifs à 11 kilogrammes de pression. I

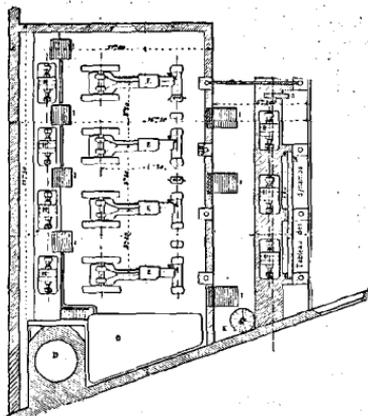


Fig. 2. — Vue en plan de la Station centrale de Saint-Etienne. (Salle des Machines.)

- D. Cheminée.
E. Moteurs à vapeur.
H. Dynamos Edison.
I. Escaliers pour descendre de

la salle des machines aux dynamos et à l'étage intermédiaire entre la salle des machines et le sol.

- K. Couloirs descendant aux chaudières.
O. Réservoir d'alimentation d'eau.
R. Tableau de groupement des dynamos.
S. Tableau des feeders.

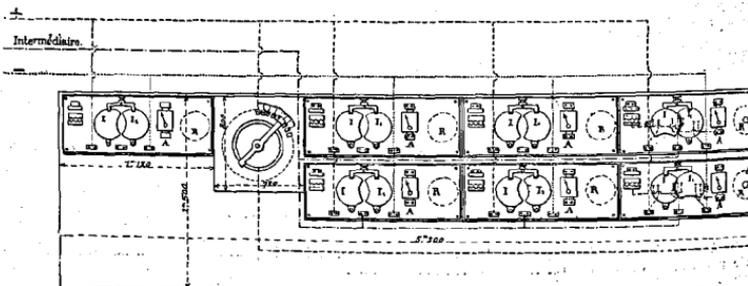


Fig. 3. — Tableau général du groupement des dynamos. (Vue d'ensemble.)

quatre moteurs sont munis chacun de deux volants-poulies aux extrémités de leurs arbres coudés. Les volants opposés au côté de la distribution commandent, par courroies, un arbre intermédiaire régnant dans toute la longueur de la salle des moteurs; cet arbre porte sept poulies qui commandent chacune une dynamo au moyen d'une courroie passant sous le

plancher, disposition qui a pour avantage de ne pas encombrer de courroies la salle des moteurs. Ces derniers peuvent marcher isolément ou solidairement suivant les besoins du service. Le courant électrique est fourni par sept dynamos Edison H, du type de 375 ampères et 120 volts. Le CHAMP MAGNÉTIQUE est créé par un groupe de trois électros à deux colonnes;

soit par six colonnes groupées en deux séries de trois réunies en quantité; chacune ayant 45 ohms, la résistance réduite de l'ensemble est de 33,75 ohms et le courant consommé de $220 : 33,75 = 6,5$ ampères environ. (L'excitation prise sur les câbles extrêmes de l'usine se fait sous une différence de potentiel de 220 volts environ.) Le rendement en ampères est d'environ 94 %. L'induit est construit dans la forme habituelle des machines Edison, sa résistance intérieure à froid est de 0,01 ohm seulement; il en résulte que la FORCE ÉLECTROMOTRICE absorbée à l'intérieur de la machine est très faible et que le rendement total de la dynamo est très élevé.

Le courant est recueilli sur le COLLECTEUR par

trois paires de PALAIS; des câbles, partant des bornes, se rendent au tableau de distribution de chaque dynamo.

Les tableaux de groupement des dynamos sont conçus de telle sorte que n'importe quelle machine peut servir de recharge sur l'un ou l'autre des réseaux du système des trois conducteurs, sans avoir à craindre de mise en dérivation sous 200 volts, grâce à des dispositifs d'enclenchement des commutateurs brevetés par M. Ebel, directeur de la Compagnie électrique Edison, à Saint-Étienne.

La fig. 3 donne la vue d'ensemble du tableau général du groupement des dynamos, et la fig. 4 représente le détail d'un panneau. Les dynamos sont

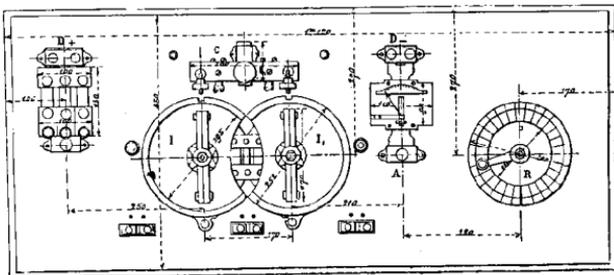


Fig. 4. — Détail d'un panneau du Tableau général de groupement des dynamos.

- A. Attributaire.
 C. Verrous de fermeture des champs magnétiques.
 D +. Borne d'arrivée du pôle+ de la dynamo avec lame de plomb de coupe-circuit.

- D -. Borne d'arrivée du pôle - de la dynamo.
 I, I'. Interrupteurs principaux mettant la dynamo sur l'un ou l'autre des deux réseaux.
 R. Résistance de champ magnétique.

groupées en série au moyen des commutateurs circulaires I et I'.

La fig. 5, schématique 5 montre que ces commutateurs,

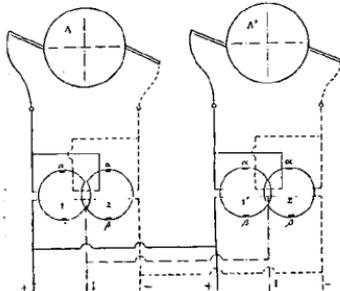


Fig. 5.

numérotés 1, 2, 1', 2' sur la fig. 5, sont pourvus d'encoches en arc de cercle, destinées à empêcher la manœuvre simultanée de deux commutateurs voisins.

Chaque commutateur porte deux contacts α et β servant à compléter les circuits de la dynamo et du réseau. En tournant le commutateur 1 de la dynamo A de manière à introduire celle-ci sur le réseau (+), il devient impossible de faire tourner le commutateur 2 de la même dynamo, puisque l'encoche du premier lui sert de verrou. Pour mettre la dynamo A' en série avec la dynamo A, il suffit de fermer le commutateur 2' qui met A' sur le réseau (-), et le commutateur 1' ne peut plus se manœuvrer. Si l'on veut coupler les deux dynamos en quantité, il suffit de fermer le commutateur 1'. Il existe d'autres verrous qui empêchent de fermer les commutateurs avant d'avoir excité les champs magnétiques et, réciproquement, de couper les champs magnétiques avant d'avoir coupé les circuits extérieurs des dynamos.

Les câbles positifs, les câbles négatifs et les câbles intermédiaires sont respectivement couplés en quantité. Ces câbles se rendent aux tableaux S (fig. 2) de départ des quatre conducteurs ou feeders qui alimentent le réseau. Les câbles négatifs sont réunis directement aux feeders négatifs de distribution; les câbles intermédiaires traversent individuellement un ampèremètre monté sur l'intermédiaire correspondant du feeder de distribution considéré. Enfin, sur chaque conducteur de distribution positif on peut intercaler des résistances faites de bandes de maillechort; ces résistances fractionnées, qui ont pour but d'enlever les inégalités de charge dans les conducteurs, sont mises en court circuit par des INTERRUPTEURS à manette.

La canalisation servant à distribuer le courant est établie à trois conducteurs. On groupe deux dynamos en série avec un conducteur intermédiaire sur le fil de réunion de ces deux dynamos. Ces trois conducteurs sont des barres de cuivre rondes séparées entre elles par des taquets en bois, trempés dans de la paraffine; le tout est enfermé dans des tubes en fer remplis de brai. Les barres de cuivre dépassent les tubes de quelques centimètres et sont réunies entre elles par de petits cylindres en cuivre soudés. Les extrémités entrent dans des boîtes en ciment, où l'on coule également du brai.

Le réseau sur lequel sont branchées les lampes a un

développement total de près de 5 kilomètres et constitué par deux types de sections de conducteurs. L'un des types est fait par positif et négatif 200 millimètres carrés avec intermédiaire de 140 millimètres carrés; l'autre type est fait par positif négatif de 140 millimètres carrés avec intermédiaire de 100 millimètres carrés. On a installé 5.500 lam et on distribue de la force motrice. L'ampère-he revient à 0 fr. 0325.

M. H. Fontaine pense que le système d'accouplement des dynamos décrit ci-dessus et combiné M. Ebel est le meilleur qui existe actuellement à les stations centrales.

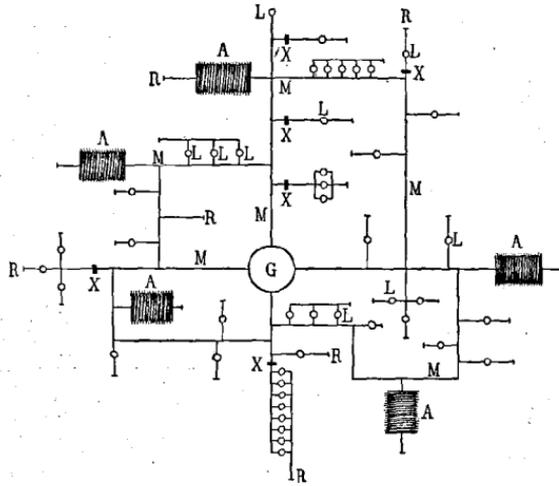


Fig. 4. — Station centrale de Colchester.

G. Station centrale.
M. Conducteurs principaux.
A. Accumulateurs.

L. Lampes
R. Fils de torse.
X. Compteurs.

Dans les exemples cités ci-dessus, le système de distribution est celui à trois conducteurs imaginé par M. Edison, qui consiste à brancher les deux conducteurs principaux sur les bornes extrêmes de deux dynamos reliées en série et de ramener le courant par un troisième conducteur aboutissant aux bornes intermédiaires de ces deux machines. Les lampes sont montées en dérivation de l'un de ces conducteurs principaux sur le conducteur central. M. Edison a obtenu ainsi une économie d'environ 60% sur la section des conducteurs.

Emploi des accumulateurs. — Il y a plusieurs manières d'utiliser les accumulateurs dans une station centrale: on peut d'abord établir des stations secondaires dans le district à éclairer et diviser les accumulateurs placés dans chacune d'elles en deux groupes; un certain nombre de batteries d'accumulateurs sont chargées en série par un courant de haute tension envoyé par la station centrale, et pen-

dant ce temps l'autre groupe est déchargé en dérivation sur le circuit des lampes. L'avantage de cette disposition, c'est de ne jamais mettre en contact le circuit à haute tension avec celui à basse tension des lampes; l'inconvénient, c'est de nécessiter un nombre assez grand d'accumulateurs, puisque toute l'énergie électrique nécessaire aux lampes est d'abord fournie aux accumulateurs qui la rendent ensuite aux lampes. M. Monnier a proposé pour la station centrale de Vienne une autre disposition consistant à faire charger en série, par le courant de la station centrale, quatre batteries d'accumulateurs se déchargeant par le système à quatre fils dans quatre circuits. Dans ce cas, les accumulateurs se chargent tant que la demande de lumière est inférieure à l'énergie fournie et les lampes sont alimentées directement par le courant principal. Pendant les heures de charge maximum seulement, une partie de l'énergie est rendue aux lampes par les accumulateurs, le reste étant directement fourni par la station centrale.

Dans le premier cas examiné ci-dessus, le rendement des accumulateurs entrant en ligne de compte, puisque ces accumulateurs transformaient toute l'énergie électrique fournie à un potentiel élevé au potentiel plus faible des lampes. Dans le deuxième cas, ce rendement n'entre en ligne de compte que pour une faible fraction de l'énergie totale fournie et le nombre des accumulateurs est plus faible. Mais les circuits des lampes et les accumulateurs doivent être soigneusement isolés du sol, car ils sont tous à des différences de potentiel considérables.

C'est cet inconvénient qui a causé la non-réussite de l'installation de Colchester, dont voici une description succincte.

Station centrale de Colchester. — La fig. 6 donne le schéma de la distribution. De la station centrale G partent des conducteurs M ou des câbles isolés aboutissant aux points où l'énergie doit être utilisée; ils sont subdivisés autant qu'il est nécessaire et leur extrémité R est mise à la terre. En certains points de la canalisation sont intercalés des batteries d'accumulateurs A. Les conduites secondaires alimentant les lampes L étaient également mises en communication avec la terre à leurs extrémités, XX... sont des compteurs.

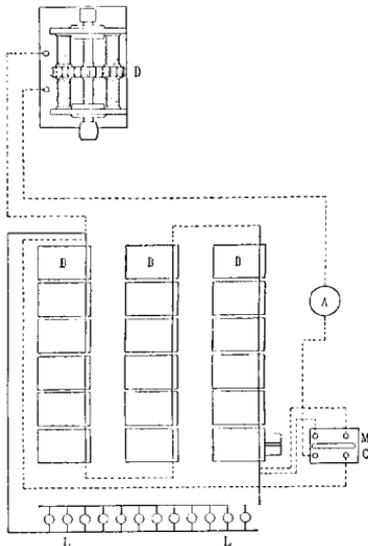


Fig. 7. — Station centrale de Colchester.

D. Dynamo. — B. Batterie d'accumulateurs. — L. Lampes.

1 La fig. 7 indique comment étaient réunies les machines, les accumulateurs et les lampes. La station centrale comprenait deux dynamos Brush D donnant chacune un courant de 9,5 ampères et 1.800 volts à la vitesse de 700 tours par minute. Ces machines étaient accouplées en quantité et excitées par une petite

machine donnant 10 ampères. Le courant était amené, à l'aide d'un câble, aux accumulateurs B placés à quelque distance. Ceux-ci étaient chargés en série. Des lampes de 60 volts étaient placées en quantité sur des câbles séparés venant des accumulateurs. Le danger de l'introduction d'un courant de 1.800 volts dans les maisons était conjuré par un commutateur automatique à bascule qui mettait les accumulateurs hors du circuit de la dynamo. Ce commutateur MC était constitué par un accumulateur semblable aux autres, mais disposé de telle sorte que l'on recueillait le gaz qui s'en dégageait; ce gaz gonflait un diaphragme attaché à un interrupteur actionnant le commutateur à bascule.

La grande objection faite au système de Colchester est l'obligation de se servir de la terre comme fil de retour. Outre le danger provenant de l'établissement de courts circuits, les conduites d'eau et de gaz qui encorbrent les sous-sols des villes constituent d'excellents conducteurs et il peut en résulter des perturbations dans la marche des appareils télégraphiques et téléphoniques.

Dans le cas où la station centrale ne peut être placée au centre de la surface sur laquelle sont distribuées les lampes à desservir, on est obligé de recourir à l'emploi des transformateurs. Nous citerons comme exemple de ce genre d'installations l'usine de Tours, décrite au mot ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

Considérations générales. — M. W. Fritsche a donné, dans la *Lumière électrique*, t. XXVIII, n° 14, le programme à suivre pour l'étude des stations centrales; nous croyons intéressant de résumer ci-dessous cette étude. Dans une station centrale de lumière électrique, où la force est fournie par des chaudières, des machines à vapeur, et l'électricité par des machines dynamo-électriques, on peut, par un réglage approprié des machines à vapeur et des machines dynamos, suivre exactement les besoins de la consommation. Le courant électrique ne passant que dans la partie du réseau où des lampes sont allumées, il n'y a pas de courant et par suite pas de perte là où il n'y a pas consommation. Les pertes de tension (potentiel), inévitables dans une distribution d'électricité un peu étendue, à cause de la résistance des conducteurs, peuvent être limitées à un minimum dans une installation bien étudiée et correspondent à la consommation du courant à chaque instant.

Pour établir un projet rationnel de station centrale de lumière électrique, il faut connaître exactement non seulement la consommation de lumière dans la région qu'il s'agit d'éclairer, mais encore les variations de cette consommation dans le courant d'une journée et à chaque saison de l'année. Il sera bon d'évaluer la consommation en fonction des usages électriques pratiques, ce qui permettra un calcul facile de la force correspondante en chevaux.

Quand on aura dressé les tableaux de consommation de lumière probable par unité de surface, on pourra calculer le réseau des rues, comprenant le réseau de distribution proprement dit et les conducteurs d'alimentation ou feeders, afin d'obtenir une distribution égale du courant à tous les points de consommation. On déterminera les sections de ces conducteurs connaissant le nombre d'ampères admissible par millimètre carré (chiffre donné par la pratique).

Le réseau de distribution doit être combiné de façon que la tension soit constante à certains points de ce réseau, condition indispensable pour avoir une lumière régulière. Dans les conducteurs d'où partent les embranchements des maisons, la chute de potentiel entre certains points auxquels il faut maintenir

la tension constante doit être très faible (1 à 1,5 volt) de sorte que toutes les lampes soient maintenues à un potentiel constant. Plus l'intensité totale du courant dérivé des conducteurs de distribution est grande, plus la tension tombera aux points de dérivation; mais cette diminution doit être compensée par une plus grande tension des machines. On examinera quelle proportion doit exister entre la perte maxima dans les conducteurs allant de la station aux points de distribution et la dépense moyenne d'énergie. Il y a une certaine valeur de cette perte à laquelle correspond la dimension la plus économique des conducteurs. Si, par exemple, on adopte pour ces conducteurs la section correspondant au maximum de consommation, les frais de l'installation sont considérables, mais l'exploitation est peu coûteuse; or, comme, en général, le maximum de la consommation n'affecte qu'un temps très court, il est logique de choisir une section correspondant à une consommation moyenne; dans ce cas, l'installation sera moins coûteuse, mais l'exploitation sera onéreuse pendant la période de temps où la consommation est maximum. Les circonstances locales interviennent dans chaque cas pour le choix à faire entre une installation économique et une exploitation plus coûteuse, ou une installation coûteuse et une exploitation plus économique.

Les machines dynamo doivent naturellement suffire pour le maximum de consommation, y compris le maximum de perte. Le débit maximum n'étant que momentanément, il sera préférable de construire les machines pour un débit de 20 à 30 % supérieur à celui considéré comme le débit normal, et ces machines fourniront pendant un court espace de temps ce travail supplémentaire.

Pour pouvoir tenir compte des variations dans la consommation du courant et pour avoir une réserve, il sera bon d'installer plusieurs machines, dont les dimensions dépendent des conditions locales, mais qu'il sera utile de choisir aussi grandes que possible, une grande machine permettant une exploitation plus économique que plusieurs petites à force totale égale. Il sera bon aussi, pour éviter les pertes, interruptions et accidents résultant des transmissions par courroies, de coupler directement les dynamos avec les moteurs à vapeur. On construit aujourd'hui des dynamos alimentant jusqu'à 5,000 lampes à incandescence de 16 bougies et plus, avec une vitesse de 75 tours par minute.

STATION TÉLÉGRAPHIQUE. — Synonyme de BUREAU TÉLÉGRAPHIQUE. On désigne aussi quelquefois sous le nom de station télégraphique un poste télégraphique (appellation empruntée à la télégraphie aérienne).

On distingue les stations, bureaux ou postes télégraphiques, suivant leur situation ou leur usage, en : *Station tête de ligne; Station de départ; Station intermédiaire; Station d'arrivée; Station de passage; Station d'observation; Station d'intérêt particulier; Station municipale; Station à service permanent; Station à service de demi-nuit; Station à service complet; Station à service limité; Station point de coupe; Station à embrochage; Station à bifurcation*, etc. (V. le mot poste TÉLÉGRAPHIQUE, où ces dénominations sont expliquées.)

Station centrale ou bureau central télégraphique.—Bureau télégraphique chargé de recevoir les TÉLÉGRAMMES arrivant de province ou de l'étranger et de les réexpédier dans les bureaux des départements ou dans les bureaux de quartier. Il existe des stations centrales de ce genre à Paris, à Londres et dans les autres capitales.

Voici quelques renseignements sur l'installation stations centrales télégraphiques de Londres et Paris, qui permettront de se rendre compte de la portée considérable qu'elles ont acquise.

Station centrale télégraphique de Londres. La Station centrale télégraphique ou bureau ce (Telegraph Office) de Londres a été construite de 1 à recevoir 1,000 fils. Sur ces 1,000 fils il y en a 830 occupés en 1884; il n'en restait donc que 15 disponibles pour les progrès à venir. Il n'y a cette année d'appareils, dit M. de Fonvielle (*Lun électrique*, t. XIV, n° 48), que des télégraphes M et des télégraphes à cadran. Ces derniers sont réservés pour des services spéciaux, et sont en nombre moi que les Morse qui, sur les lignes occupées, sont nés au DUPLEX, au QUADRUPLIX et même en auti liques. Les Wheatstone automatiques actuels n'ont que deux emplois : 8 pour la transmission, 10 pour la transcription; mais ils fonctionnent avec l'incroyable vitesse de 400 mots par minute. Les couples qui fournissent l'électricité sont de 2 espèces : les Daniell, au nombre de 12,000, qui coûtent d'entretien 23,040 fr.; les Fuller, au nombre 9,000, coûtant 28,530 fr. d'entretien, mais l'élevé de leur force électromotrice les rend préférables à l'emploi des grandes lignes; et enfin les Leclanché employés seulement pour les lignes peu chargées service intérieur.

Station centrale télégraphique de Paris. La Station centrale ou poste central télégraphique de Paris est située rue de Grenelle, dans un bâtiment comprenant un sous-sol, un rez-de-chaussée et premier étage. Le sous-sol est consacré aux piles, nombre de 8,000 environ; les couples sont tous système Callaud, ils sont associés à la fois en série et en quantité. Les grandes lignes emploient 6 groupes de couples montés par 3, par 5 ou par 6 quantités sur 80 ou 90 en tension (V. ACCUMULEURS). Le service de Paris a un groupe spécial de 900 couples montés par 15 en quantité ou en surface; 10 en tension, plus une portion supplémentaire qu'on couple en tension. Les appareils rapides, multiples, ont leurs piles spéciales; un Wheatstone exige 70 couples, un multiple Baudot demande de piles de ligne de 100 couples chacune et 200 autres couples pour diverses piles locales. Les fils sont rains ont un groupe spécial de piles prenant le terre dans un puits. Dans le sous-sol se trouvent également des machines à vapeur destinées à mettre mouvement des turbines Humboldt actionnant les distributeurs des multiples Meyer et Baudot, et des namos pour l'éclairage électrique de la station centrale. Au rez-de-chaussée se trouvent les bureaux des magasins, des vestiaires et certaines annexes A l'entresol est une grande salle où sont installés 30 appareils Hughes et 196 Morse desservant les bureaux de Paris et reliant le poste central avec banlieue et avec certains points de la province. C divers appareils sont manœuvrés par des femmes.

Au premier étage on trouve la grande salle qui renferme les appareils Hughes, un quadruple Meyer rapide Wheatstone qui est en relation directe avec Fredericia (Danemark), distance de 377 kilomètres (il y a un relais à Calais). La fig. 4 donne la vue de cette salle; les appareils sont disposés sur des séries de tables parallèles des deux côtés d'un large passage on aperçoit au fond de la salle une cloison qui s'élève pas jusqu'au plafond et derrière laquelle on trouve les rosaces des fils de ligne et de pile. Entre la cloison et les rosaces sont disposés des appareils de mesure permettant de vérifier les isolations, d'éviter



Fig. 1. — Grande salle du Bureau central télégraphique de Paris, contenant les appareils Hughes. (*Lumière électrique*.)

luer les pertes de courant, etc., etc.; un local spécial | instruments servant à mesurer la résistance des fils
est réservé pour les PONTS DE WHEATSTONE et autres | On y trouve aussi les relais d'Arincourt, don

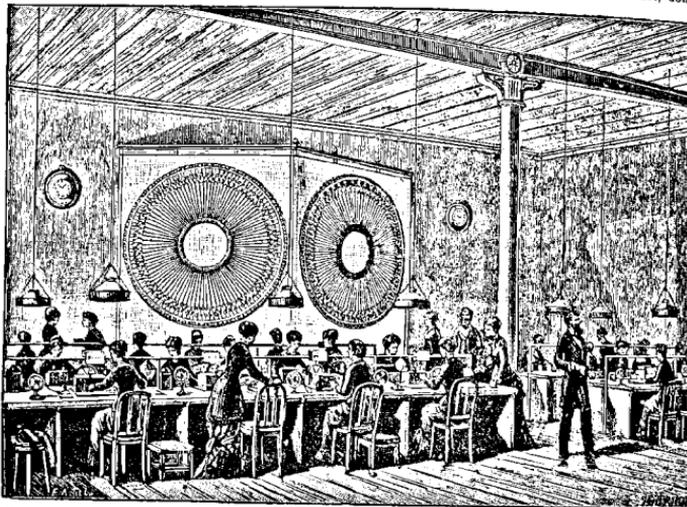


Fig. 2. — Extrémité de la Salle des appareils Hughes et Morse du Barreau central télégraphique de Paris. (Lum. électr.)

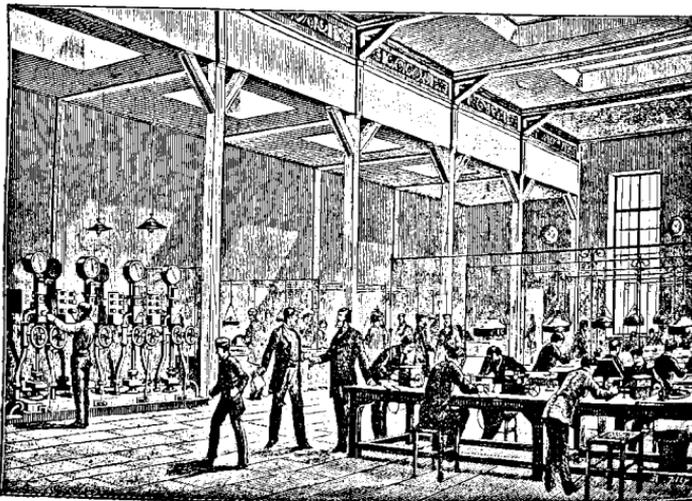


Fig. 3. — Salle renfermant les appareils Baudot et Wheatstone, ainsi que les appareils pneumatiques. (Lum. électr.)

permet de communiquer directement entre Londres et Marseille par les fils de la Compagnie de l'Eastern. | La fig. 2 donne la vue de l'extrémité de cette sal
Les piles situées dans le sous-sol sont reliées à t

reuses auxquelles aboutissent les lignes venant du dehors. Ce mode de réunion des fils a été jusqu'ici employé comme étant le plus commode; il permet de faire sans difficulté les changements nécessaires.

La fig. 3 donne, enfin, la vue d'une partie de cette même salle affectée aux tubes pneumatiques et aux appareils Baudot et Wheatstone. Ces appareils desservent Marseille, Nice, Toulon, Brest.

Le personnel attaché au poste central, non compris le service officiel, se compose de 860 personnes, dont 510 hommes et 350 femmes. Le nombre quotidien des transmissions varie de 36.000 à 10.000 et s'élève souvent à un chiffre plus grand (ainsi, en 1881 il a fréquemment atteint 45.600).

(Extrait d'une étude publiée par M. Frauck Gerdey dans la *Lumière électrique*, vol. 8, n° 1, année 1883.)

Station télégraphique flottante. — En 1881, M. Ch.-W. Harding a proposé d'établir des stations télégraphiques flottantes en mer pour avertir de l'approche des cyclones et fournir ainsi de précieuses informations météorologiques.

M. le capitaine Moody, de la marine anglaise, avait dessiné et fait breveter un vaisseau destiné à servir de refuge en mer et de station télégraphique; un modèle de ce navire fut même construit; il est employé comme demeure des gardiens préposés à la surveillance des pêcheries sur les côtes du comté de Norfolk; il a parfaitement résisté aux tempêtes les plus violentes; il avait la forme d'un as de trefle. On pourrait donc, disait M. Harding, construire des navires plus grands, qui seraient ancrés dans l'Atlantique et qui constitueraient des stations télégraphiques flottantes.

STATION TÉLÉPHONIQUE. — Synonyme de bureau téléphonique. On désigne aussi quelquefois sous ce nom un poste téléphonique.

L'établissement d'un poste central ou d'une station centrale est nécessaire toutes les fois qu'il s'agit d'établir des communications téléphoniques entre plusieurs postes. A cet effet, les lignes desservant ces postes aboutissent toutes à la station centrale, où des employés en nombre suffisant donnent, à l'aide d'appareils spéciaux, les communications qui leur sont demandées.

On construit des postes centraux (ou stations centrales) plus ou moins importants suivant le nombre des postes à desservir. Ainsi, la fig. 1 donne la vue d'un poste central mobile à leviers, construit par la Société générale des Téléphones pour les installations de résidences nomades. L'appareil se compose d'une boîte portée sur un pied en fonte et comprenant un certain nombre de petits leviers correspondant chacun à une direction. Le poste est muni d'un appareil combiné Borelton-Ador, d'un *travail électrique* à disposition indiquant de quel côté vient l'appel; les numéros de ce tableau disparaissent automatiquement quand on soulève le commutateur de l'appareil à leviers. Pour se mettre en relation avec l'un des postes reliés à ce poste central, il suffit d'abaisser le levier correspondant au poste demandé, d'appuyer sur le bouton d'appel, puis de décrocher l'appareil mis en communication qui sert à la fois de transmetteur et de récepteur.

Le poste peut être combiné en vue de l'emploi des appareils à sonnerie magnétique. Dans ce cas le tableau à disposition représenté sur la figure est remplacé par une série d'anneaux disposés dans le poste lui-même. Les opérateurs à effectuer pour se servir du poste sont les mêmes que celles que nous venons d'évoquer. Des appareils de ce genre ont été installés à la Compagnie transatlantique, à la Banque franco-

égyptienne, etc. De nombreux postes de ce type sont employés dans le réseau de Buenos-Ayres.

La fig. 2 représente un autre type de poste central approprié à de petits réseaux comprenant de vingt-cinq à cinquante abonnés. A la partie supérieure se trouve une *traverse* à laquelle aboutissent les lignes d'abonnés.

Dans le cas de réseaux à simple fil, les contacts de passage forment automatiquement. Des contacts partent des fils allant aux annonceurs et aux abonnés. Ces deux derniers genres d'appareils sont fixés sur le devant d'un panneau à charnières. Le paquet de fils arrive directement à ces organes. Le panneau pouvant s'ouvrir, il est facile de vérifier toutes ses parties.



FIG. 1. — Poste téléphonique central mobile à leviers.

Sur lui se trouvent fixés l'appareil du poste central, les commutateurs de sonnerie, de changement de piles, les crochets de suspension des cordons, etc.

Enfin ce poste se constitue pour réseaux à simple fil ou pour réseaux à double fil, pour appels par piles ou pour appels magnétiques. Il a déjà reçu de nombreuses applications.

Les opinions sont très partagées relativement au nombre des bureaux centraux nécessaires à l'exploitation d'un réseau téléphonique donné. Parmi les réseaux possédant un grand nombre de stations reliées à un bureau central et entre elles, on peut citer les réseaux de Paris et de Londres. Dans ce cas les bureaux centraux ne possèdent pas un nombre bien considérable d'abonnés. Le plus chargé des 12 bureaux centraux de Paris, celui de l'Opéra, a 750 abonnés environ. A Paris, le réseau est en force

ment souterrain et les câbles téléphoniques sont posés dans les égouts, tandis qu'à Londres le réseau est, au contraire, exclusivement aérien.

Dans toutes les villes où le nombre d'abonnés n'est pas très considérable, un seul bureau central est toujours suffisant. Même pour des villes ayant plus de

la ville un certain nombre de fourilles secondaires reliées aux abonnés du voisinage par des fils aériens et à la station centrale par des câbles souterrains. On a ainsi une moyenne entre le système de la station centrale unique et celui de la pluralité de celle-ci et en même temps le système adopté est un terme entre le réseau aérien et le réseau souterrain.

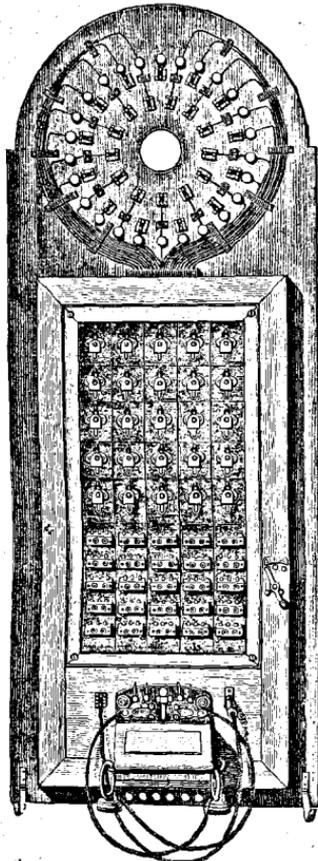


Fig. 2.

2.000 abonnés, on connaît des exemples où une seule station centrale dessert tout le réseau. Ce qui a grandement contribué à mettre en faveur le système d'une station centrale unique, c'est l'introduction des tableaux multiples qui permettent de réunir jusqu'à 6.000 abonnés sur un seul tableau. En Suisse, chaque réseau téléphonique ne comporte pas plus d'une station centrale. Le système qui semble prévaloir dans ce pays consiste à établir sur certains points de

l'organisation des Stations téléphoniques à Pa. Voici quelques détails sur l'organisation des bureaux centraux ou stations centrales téléphoniques à Pa.

Les câbles conducteurs sont posés dans les égouts et entrent de l'égout dans la cave ou dans le sous-sol de la maison où est installée la station centrale; pénètrent dans une chambre ou guérite de bois forme carrée, nommée rosace. Chaque face principale de cette guérite présente une grande ouverture circulaire. Les câbles, à sept conducteurs sous une fois entrés dans la guérite, se distribuent au centre de chacune des quatre rosaces, sur la face intérieure de la cloison. Puis, l'enveloppe de plomb supprimée, ils sont séparés en sept lignes à deux fils, qui traversent la cloison et viennent aboutir à des serveurs doubles; les fils conducteurs sont deux à deux et sont de coton de même couleur; il y a donc sept couples de fils de sept couleurs différentes, qui sont placés toujours dans le même ordre autour de la rosace.

Sur un cercle plus grand sont fixées de petites plaques en tôle émaillée sur lesquelles sont inscrits les noms des abonnés. Sur un cercle plus grand encore sont d'autres étiquettes donnant le numéro de chaque câble (v. fig. 3, détail d'une Rosace). Chaque serre-fil part un câble à deux fils, recouvert de gutta-percha, qui va au bureau proprement dit. Le câble est paraffiné à sa surface.

Les quatre rosaces peuvent être considérées comme les bases de quatre cônes dont le sommet commun est au centre géométrique de la guérite. Ce qui a conduit à l'idée de la rosace, c'est l'utilité de faire passer tous les fils par ce centre de telle sorte qu'ils aient même longueur et qu'ils puissent être interchangeables. En pratique, voici comment l'idée est réalisée. Les fils sont soutenus à l'intérieur de la guérite par des anneaux. On leur donne une longueur supplémentaire qui pend au-dessous de l'anneau, et ils montent enfin au plafond pour traverser le sol du rez-de-chaussée et arriver dans le bureau. Grâce à cette disposition on peut placer dans le voisinage les uns d'autres, dans le bureau, les appareils servant à faire communiquer entre eux les abonnés dont les communications sont les plus fréquentes, pour abréger les manœuvres.

Le bureau est composé, par exemple, de deux parties semblables se tournant le dos et séparées par un corridor dans lequel sont amenés les câbles; ces câbles sont distribués aux commutateurs placés droite et à gauche.

La fig. 4 donne le schéma des communications entre un poste d'abonné et un bureau central.

La figure suppose, comme on le voit, que le réseau est à simple fil. La ligne partant du poste de l'abonné (poste dont le montage est indiqué en détail au chapitre TÉLÉPHONIE) arrive dans le bureau central, traverse un jackknife J, puis un annonceur A et se rend à la terre.

Le jackknife et l'annonceur desservant la même ligne portent un même numéro d'ordre, qui est celui attribué à l'abonné au poste duquel aboutit la ligne. On voit sur la fig. 6, qui donne la vue pittoresque d'un bureau téléphonique, comment sont disposés les indicateurs. Au-dessous d'eux sont placés les jack-

knives. Les numéros des indicateurs et des jackknives se suivant dans l'ordre naturel et dans toute l'étendue du bureau, les recherches sont faciles et prompts. Enfin au-dessus de chaque jackknife est une petite plaque d'ivoire sur laquelle est gravé le nom de l'abonné.

La fig. 5 représente un groupe de deux tableaux contenant des annonceurs et des jackknives.

On remarquera qu'entre ces deux tableaux se trouve une clef d'appel (figurée aussi en C sur la fig. schématique n° 4) dont le ressort est muni à son extrémité d'un cordon souple à âme métallique, et terminé par une fiche. Le butoir A de cette clef d'appel est relié au fil induit d'une bobine d'induction B; ce fil induit se rattache à sa sortie par un cordon souple au récepteur d'un appareil combiné Berthoin-Ader

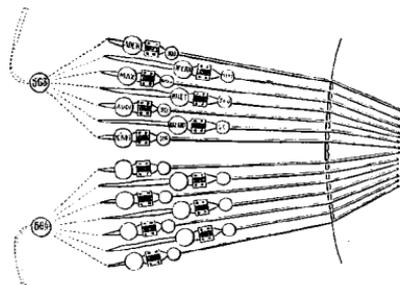


Fig. 3. — Détail d'une Rosace, vue de dehors.

(T t) et passe ensuite à la terre. Quant au fil inducteur de cette bobine B, il traverse d'un côté le microphone transmetteur T de l'appareil du bureau, puis le jackknife de pile J', et aboutit au commutateur de

pile K qui met en contact avec le pôle négatif de la pile P, du microphone; l'autre bout du fil inducteur est relié au pôle positif de la pile P. La clef d'appel est reliée aussi à une petite pile, dite pile

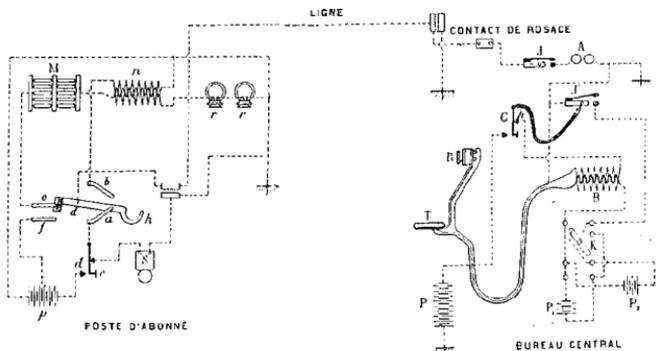


Fig. 4.

d'appel P, composée de 25 à 30 couples Leclanché et dont le courant est utilisé pour l'appel des abonnés.

Ceci posé, il est facile de comprendre comment s'établissent les communications entre un abonné et le bureau central et entre deux abonnés desservis par ce bureau. Quand un abonné veut obtenir une communication, il presse sur le bouton d'appel α (fig. 4) et il envoie ainsi dans la ligne (par terre, pile, d , a , e) le courant de la pile p ; ce courant arrivant au bureau

central traverse l'annonceur A dont le clapet tombe (le clapet en tombant peut actionner une sonnerie, mais dans les bureaux centraux on ne fait fonctionner la sonnerie que la nuit; le jour le bruit de la chute du clapet de l'annonceur suffit pour attirer l'attention). La téléphoniste relève le clapet de l'annonceur et introduit la fiche dans le trou 2 du jackknife portant le même numéro que l'annonceur; elle appuie ensuite sur la clef d'appel C et répond à l'abonné en se servant de l'appareil de bureau T t.

Pour mettre cet abonné en communication avec un autre abonné relié au même bureau, la téléphoniste n'a qu'à relier les deux jackknives au moyen d'un cordon souple.

Si le deuxième abonné auquel veut parler le premier ne dépend pas du bureau auquel celui-ci est relié, la téléphoniste doit mettre l'abonné qui appelle en communication avec le bureau dont dépend l'abonné appelé, et ce bureau établit alors les communications nécessaires.

Dans les grands bureaux la mise en communication de deux abonnés, dont les annonceurs sont dans

des tableaux éloignés, ne peut plus se faire au moyen de cordons souples : ces cordons, qui seraient longs s'emballeraient. On a résolu le problème à l'aide d'une autre série de jackknives, qui se voient dans la partie inférieure du panneau (fig. 5).

Ces jackknives, que l'on appelle *conjoncteurs* les distinguent des autres, n'ont qu'un seul trait de ressort. Les tableaux indicateurs de vingt numéros sont groupés deux à deux. La fig. 5 en montre l'un de ces groupes. Chacun est désigné par un numéro (dans la figure, le groupe des deux tableaux indicateurs porte le n° 33). Au-dessous

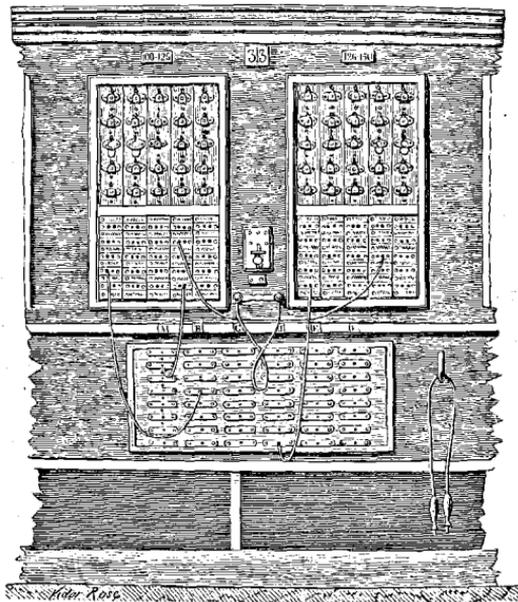


Fig. 5. — Groupe de tableaux. (Indicateurs. — Jackknives. — Jacks.)

deux tableaux est une série de conjoncteurs composée de six rangées verticales, désignées par les six premières lettres de l'alphabet A, B, C, D, E, F, et de quinze rangées horizontales. Un certain nombre de rangées horizontales sont destinées aux lignes auxiliaires, c'est-à-dire aux lignes qui vont dans les autres bureaux. D'autres rangées servent pour les lignes des abonnés aboutissant au bureau considéré.

Pour établir alors une communication entre deux abonnés, on réunit le premier abonné avec le jack qui correspond à son tableau, et comme ce jack porte une lettre alphabétique, on met le second abonné en relation avec le jack situé en dessous de son tableau et portant la *même lettre* que le précédent. Il y a donc deux cordes à mettre en œuvre, au lieu d'une seule manœuvre comme dans le cas de deux abonnés situés sur le même tableau (c'est ce qu'indique la figure).

Mais, pour faire cette manœuvre, il est nécessaire qu'un téléphoniste puisse en appeler un autre. A cet effet, sur la partie supérieure de la planchette du commutateur et devant chaque téléphoniste se trouvent de petits leviers en nombre égal à celui des téléphonistes du bureau moins une, et un levier spécial appelé *touche noire*. Ceci posé, si un téléphoniste A, par exemple, veut appeler la téléphoniste B, elle abaisse le levier (ou la touche) correspondant à B et elle sonne; un annonceur spécial placé en B et correspondant à toutes les touches B du bureau tombe et la téléphoniste B ainsi prévenue n'a plus qu'à abaisser la *touche noire* placée devant elle pour se trouver immédiatement en communication avec le téléphoniste A.

Dans les bureaux centraux nouvellement installés à Paris, les abonnés sont répartis par tableau comprenant quarante-neuf annonceurs (sept rangées hori-

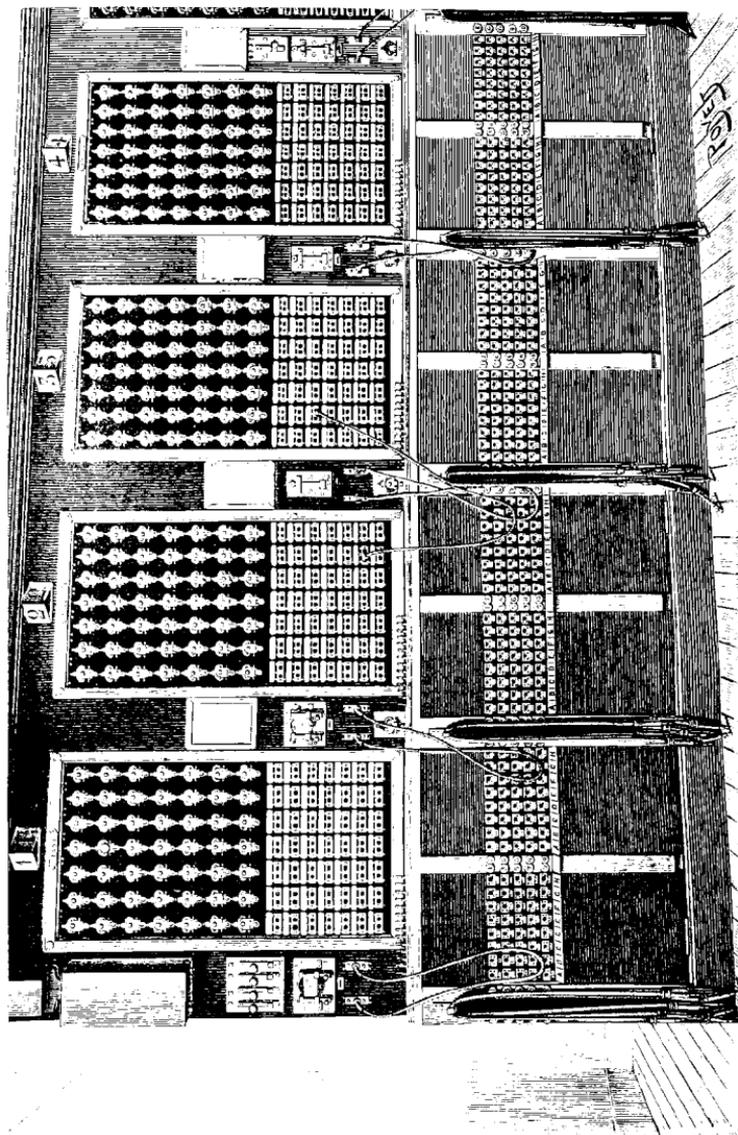


Fig. 6. — Vue intérieure des commutateurs téléphoniques de La Villette.

montales composées de sept annonceurs chacune). Il y a par rangée horizontale huit conjoncteurs au lieu des six existant dans l'ancien système.

La fig. 6 donne la vue perspective du bureau C installé à La Villette et tout nouvellement établi. Les fig. 7 et 8 donnent la vue de face et la vue de derrière d'un tableau à quarante-neuf annonceurs.

Au 1^{er} janvier 1887 le nombre des bureaux centraux, à Paris, était de 12. Le bureau de l'Opéra

dessert le plus grand nombre d'abonnés (738); et de la rue de Londres en dessert le moins (116), moyenne du nombre des abonnés reliés à chaque bureau est de 393. A la date précitée la Société générale des Téléphones avait 4.518 abonnés en servi dont 4.376 dans l'intérieur des fortifications et 142 dans la banlieue.

Dans les vingt-quatre heures, la moyenne quotidienne des communications échangées est de 18.8;

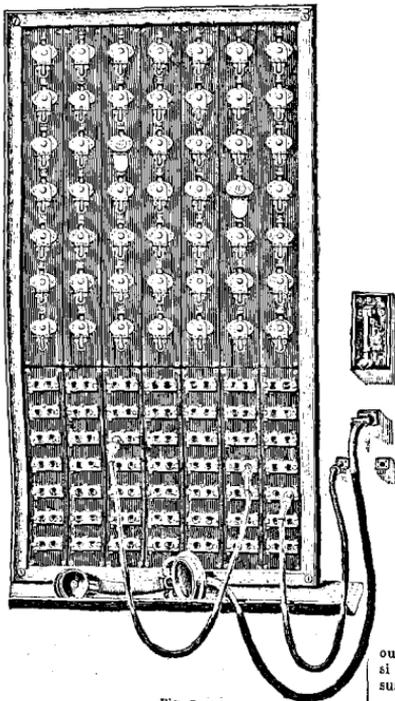


Fig. 7.
Vue antérieure d'un tableau à 49 annonceurs.

celles-ci se répartissent très inégalement entre les 12 bureaux centraux: ainsi, le plus chargé, celui de l'Opéra, en donne 3.684; le moins important, à ce point de vue, est celui de Passy.

Le personnel, qui est de service de huit heures du matin à sept heures du soir, comprend 173 femmes; chacune d'elles donne en moyenne 108 communications par jour. A partir de sept heures du soir elles sont remplacées par des hommes.

Grâce au système des lignes auxiliaires, qui relient directement chaque bureau à tous les autres, deux bureaux seulement interviennent pour mettre en relation deux abonnés quelconques; dès lors l'établissement de la communication peut être réalisé une

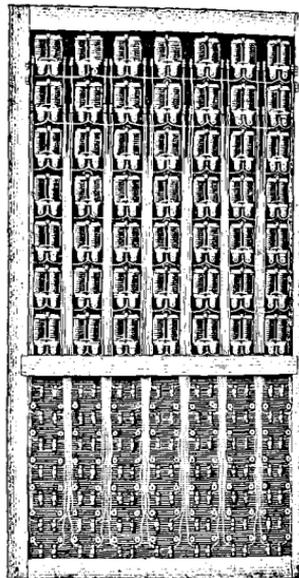


Fig. 8.
Vue postérieure d'un tableau à 49 annonceurs.

ou deux minutes tout au plus après la demande, si le service est fait avec la célérité dont il est susceptible.

Stations téléphoniques de New-York — A New-York, le réseau téléphonique urbain appartient à la Metropolitan Telephone and Telegraph Co, qui possède les brevets du téléphone Bell. Les stations centrales ou bureaux centraux de la société se situent à la file, selon le grand diamètre de l'île de Manhattan; elles sont toutes installées d'après un système différent, ce qui ne les empêche pas de donner rapidement toutes les communications qu'on leur demande.

Le réseau ne comporte qu'un seul fil, le retour s'effectuant par la terre. M. Abdank-Abckranowicz a publié une étude sur le réseau téléphonique de New-York en 1884 (*Lumière électrique*, t. XVII) et il décrit un agencement spécial désigné sous le nom de *Lau System*, grâce auquel les stations centrales peuvent donner les communications les plus

rapides possibles. Les abonnés au Law System payent un supplément de taxe.

Le système consiste à réunir par un fil spécial un certain nombre d'abonnés (nous rappelons que chaque abonné est relié au bureau central par un fil unique). Ce fil spécial, après avoir passé dans les appareils disposés sur le réseau, revient au poste téléphonique du bureau central.

Quand un abonné veut appeler, il introduit son téléphone sur le fil spécial et correspond ainsi directement avec le poste téléphonique du bureau central; le récepteur de ce poste téléphonique est toujours à l'oreille de l'employé. L'abonné dit son numéro d'ordre et le numéro de l'abonné avec lequel il veut correspondre. L'employé prend la fiche du numéro appelé. L'appareil entre une plaque réunie à la pile et fait sonner la sonnerie de l'abonné appelé; il met ensuite les deux fiches sur la même barre métallique et les deux abonnés se trouvent en communication. Quand la conversation est terminée, les deux abonnés se remettent sur le fil spécial et demandent à rompre la communication établie.

Les abonnés à la Société ont des postes composés de microphones Blake et de récepteurs Bell. Il n'y a qu'un seul couple de pile par poste pour les microphones.

Le nombre des fils auxiliaires réunissant les stations s'élève à 397, dont 106 pour le Law System. 207 hommes, contrôleurs et surveillants compris, suffisent pour le service: chaque employé du bureau central répond par jour, en moyenne, à 455 appels des abonnés; chaque abonné appelle neuf fois par jour, et chaque fil auxiliaire est utilisé environ soixante-deux fois. Le chiffre moyen des communications tombe à 86,410 par jour, 27 hommes répartent les lignes et les appareils; les dérangements dans les lignes se produisent, en moyenne, quatre-vingt-treize fois par jour, et dans les appareils cinquante-quatre fois.

Appareils des Stations centrales téléphoniques. — Comme on l'a vu, une station centrale a besoin d'ANNONCIATEURS destinés à recevoir l'appel des abonnés et les signaux de fin de conversation, de TRANSMETTEURS et de RÉCEPTEURS TÉLÉPHONIQUES afin de pouvoir se mettre en communication avec les abonnés, de piles ou autres générateurs d'électricité pour les appeler, et de COMMUTEURS pour réunir les lignes.

Ces différents appareils ont été étudiés aux mots qui les désignent, mais il nous paraît intéressant de reproduire ici un passage de l'étude publiée en 1887 dans le *Journal télégraphique de Berne*, par M. Rothen, sur la téléphonie, et dans la quelle il rappelle sommairement les avantages et les inconvénients des appareils actuellement employés dans les divers pays.

Commuteurs. — Au début on a pensé à se servir du commutateur suisse employé en télégraphie; mais pour la téléphonie il présente des complications et entraîne des erreurs lorsque le nombre des abonnés dépasse 100 ou 200.

Le système employé actuellement est la corde à fêles combinée avec le jackknife ou springjack, qui joue le rôle du manipulateur télégraphique.

Annonceurs. — Le relais télégraphique a servi de modèle aux annonceurs. Ces appareils sont composés d'un électro-aimant avec armature mobile et d'un clapet qui tombe quand il est déclenché par l'attraction de l'armature.

Voici les différents types d'annonceurs les plus usités :

— *L'annonceur de MM. Siemens et Halske*, en usage en Allemagne. Il est composé d'un électro-aimant boîtier vertical, pourra d'une armature horizontale fixée à un ressort. L'armature pousse à son extrémité un petit bras en laiton qui aboutit à un crochet par lequel le clapet est retenu tant que l'armature n'est pas attirée.

— *L'annonceur de M. Sieur* (dérivé au mot *annonceur téléphonique*), qui a été adopté par la Compagnie générale des Téléphones de Paris.

— *L'annonceur américain* n'exigeant, comme le précédent, aucun ressort, et réglé seulement par un faible surplus de poids du côté de l'armature. C'est l'annonceur le plus répandu.

— Il existe aussi des modèles d'annonceurs dans lesquels l'électro-aimant est polarisé; le noyau aimanté à un mouvement libre entre les deux pôles de l'aimant et fait déclencher le clapet quand il est poussé dans une de ses deux directions.

Dans quelques stations centrales on a supprimé les annonceurs. A cet effet, un certain nombre d'abonnés sont reliés dans la station centrale à une plaque métallique en communication elle-même avec un téléphone maintenu à l'oreille de l'employé de la station centrale à l'aide d'un ressort. L'abonné n'a pas besoin d'appeler; il suffit qu'il décroche son téléphone et il peut immédiatement parler avec la station centrale. (Ces: le *Law System* employé à New-York et décrit ci-dessus.)

Il existe plusieurs solutions d'une station centrale sans annonceurs, que nous ne pouvons décrire en détail. Nous renvoyons le lecteur à l'article publié par M. Rothen, directeur adjoint des Télégraphes suisses, dans le *Journal télégraphique de Berne*, t. XI, n° 5, 1887.

On a cherché le moyen de donner à un abonné la faculté de parler à un autre abonné sans influencer la station centrale, ce qui conduit à placer chez chaque abonné deux systèmes d'appel, l'un pour la station centrale, l'autre pour les abonnés. Si un pareil système fonctionnait bien, il présenterait de nombreux avantages. A signaler les appareils imaginés dans ce but par M. Rothen, par M. Naglo et par M. Elsassser.

M. Berthou, directeur de la Société générale des Téléphones de Paris, a imaginé un système permettant de laisser deux abonnés, qui ont des relations suivies entre eux, en communication directe sans les priver de la communication avec la station centrale. Il a profité de ce que le réseau de Paris possède deux fils pour chaque abonné. M. Elsassser a modifié le système Berthou en vue de son application aux stations d'abonnés desservies par un seul fil (*Elekrotechnische Zeitschrift*, t. VI, p. 241); mais on arrive ainsi à une grande complication.

Quand le nombre des abonnés d'un réseau dépasse celui des annonceurs d'un commutateur, il faut pourvoir la station centrale de plusieurs commutateurs et établir des communications de commutateur à commutateur à l'aide de jackknives additionnels; mais on arrive bientôt à des difficultés et à des complications qui nuisent à la bonne marche du service. On est ainsi amené à établir plusieurs stations centrales ou à construire des commutateurs d'un modèle spécial.

La première de ces deux solutions a été adoptée à Paris et à Berlin. Les stations centrales sont mises en relation entre elles par un nombre suffisant de fils d'intercommunication, et plus de la moitié des communications doivent passer par deux stations cen-

trales. Ce système présente de graves inconvénients et un seul avantage, celui de diminuer la longueur des lignes. M. Rothen condamne ce système et dit qu'aux États-Unis on l'a abandonné. Il considère que la vraie solution pour les grandes stations centrales consiste dans le commutateur multiple, dont il existe plusieurs types qu'il décrit (*Journal télégraphique de Berne*, n° 6, t. XI, 1887). Ce sont : le commutateur multiple de M. Perrin, construit pour un réseau de 800 abonnés, celui de M. Greenfield, etc. Il décrit en détail le *Nashville multiple*, adopté sur les grands réseaux suisses, à Genève, Zurich et Bâle.

Systèmes d'appel. — Dans les stations centrales ayant un grand nombre d'abonnés à desservir, le système d'appel a une importance capitale. L'administration des Télégraphes suisses a établi à Genève un moteur à eau d'une force de 1/8 de cheval, qui actionne un MOTEUR magnéto-électrique assez puissant pour desservir 1.500 abonnés, soit pour appeler simultanément sur 16 à 20 fils. Ce système répond à toutes les exigences du service.

Récepteurs téléphoniques. — On se sert de microtéléphones portatifs, appareils combinés Berthou-Ader, par exemple. (V. fig. 4, et au mot TÉLÉPHONE.)

Stations branchées sur le même fil. — On a étudié le moyen de mettre plusieurs abonnés sur un seul fil afin d'arriver à l'utilisation la plus complète possible des lignes téléphoniques.

M. Rothen définit ainsi les conditions à remplir :

1° La station centrale doit pouvoir appeler chaque abonné sans que les autres abonnés placés sur le même fil soient dérangés ; 2° chaque abonné doit pouvoir appeler la station centrale sans déranger les autres abonnés ; 3° quand un abonné est en communication avec la station centrale ou par l'intermédiaire de celle-ci avec un autre abonné, il devra être impossible aux autres abonnés, placés sur le même fil, d'épier ou d'interrompre la conversation ; 4° deux abonnés placés sur le même fil doivent pouvoir converser entre eux. — On trouvera dans le *Journal télégraphique de Berne*, n° 7 et 8, t. XI, 1887, une longue et intéressante étude sur ce sujet, due à la plume autorisée de M. Rothen. Son étendue ne nous permet pas d'en donner l'analyse, même sommaire. Nous nous contenterons de nommer les auteurs des solutions offertes ; ce sont : M. Connolly, Tigh, Ledue, Bartelous, Osterreich, Elsassner, Zetzsche, Ericsson, Cedergren, Paul, Carcy, Barré, Rosebrugh, Hartmann et Braun, Stephen, Ader, et enfin Maurizio Leblanc, notre collaborateur.

M. Campbell Simon a imaginé un système de communications directes pour un nombre limité d'abonnés, qui dispense d'établir un poste central. Chaque poste peut appeler directement l'un quelconque des autres, même si à ce moment une communication existe déjà entre deux ou plusieurs d'entre eux. Ce système sera d'une grande utilité dans les bureaux, les magasins, les hôtels, etc.

Appareils divers imaginés pour répondre à des besoins spéciaux.

— On a souvent besoin de mettre une station téléphonique en communication avec deux autres stations, de telle façon que, quand elle communique avec l'une de ces dernières, l'autre soit mise sur sonnerie et que les deux postes extrêmes puissent être en relation directe sans que la station intermédiaire surprenne la conversation.

On peut résoudre ce problème de plusieurs manières. La Bell Telephone Manufacturing Co emploie à

cet effet un combinatoire représenté fig. 9. a, b, c, d, sont des goupilles métalliques reliées électriquement comme le montre le croquis. M est un levier à deux bras, en matière non conductrice, qui met autour d'un pivot placé en son centre. Le levier porte un bouton i permettant de le pla dans telle position que l'on désire ; au-dessus et au-dessous se trouvent deux ressorts, dont l'un, da, à droite, peut glisser sur les goupilles b et c, l'autre, du côté gauche, sur les goupilles a, d et T représente le téléphone de la station intermédiaire S la sonnerie supplémentaire, α et α' deux indicateurs de fin de conversation, L' et L'' les deux fils allant aux stations extrêmes. Lorsqu'on place le levier sur les goupilles b et d, on met la ligne L' sur téléphone et la ligne L'' sur sonnerie S. Lorsqu'on le levier sur c et g, la ligne L' est sur téléphone et la ligne L'' sur sonnerie S ; enfin, lorsque le levier, placé sur α , les appareils de la station intermédiaire se trouvent hors de circuit et les deux postes extrêmes communiquent.

Il existe bien d'autres combinatoires ; la descrip-

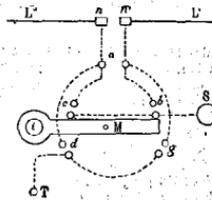


Fig. 9.

qui précède suffit à faire comprendre leur système général. M. Rothen a construit un combinatoire le plus simple s'adaptant à un nombre quelconque de stations. (On en trouvera la description et les dessins dans le *Journal télégraphique de Berne*, t. XI, n° 3, 1887.)

On a imaginé des systèmes permettant de s'assurer que le signal d'appel est arrivé à l'autre bout de la ligne. Ce problème est facile à résoudre quand l'appel est fait au moyen de courants de pile ; mais M. F. Gannon est parvenu à obtenir le signal de retour même lorsque l'appel est fait par magnéto. (V. la description dans le *Journal télégraphique de Berne*, t. XI, n° 4, 1887.)

M. Pendleton a construit un appareil permettant à un abonné d'indiquer à celui qui l'appelle, pendant son absence, l'heure à laquelle il compte rentrer. À la station téléphonique est ajouté un mouvement d'horlogerie déclenché par un appel téléphonique et qui met en action une roue à contacts ; le mécanisme s'arrête de lui-même quand une série de contacts est passé. On donne à la roue à contacts différentes positions (de 1 à 12 contacts). Si l'abonné compte revenir à son bureau à trois heures, par exemple, il place avant de partir, sa roue sur trois contacts, et quand un autre abonné l'appelle pendant son absence, le mouvement d'horlogerie étant déclenché, la roue établit ses trois contacts et tout s'arrête ensuite de nouveau. Les trois contacts laissent trois courants sur la ligne, et l'abonné appelant sait qu'il est inutile de renouveler son appel avant trois heures. Le mouvement d'horlogerie peut répondre à environ 300 appels avant d'être remonté.

Les stations téléphoniques sont quelquefois combinées pour recevoir des indications exactes du temps, soit qu'à un moment donné un signal spécial arrive, soit qu'une pendule de l'abonné se trouve automatiquement mise à l'heure. (V. ANNEE A L'HEURE.)

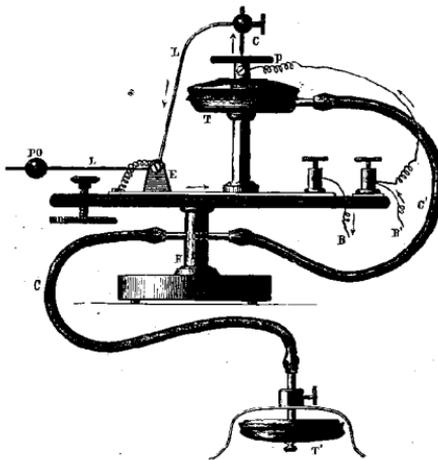
STATIQUE (Électricité). — « Les corps soumis à cet agent, dont la nature nous est inconnue et auquel on donne le nom d'ÉLECTRICITÉ, peuvent être étudiés à deux états : soit lorsqu'ils sont parvenus à l'état d'équilibre électrique, soit pendant la période qui peut se prolonger pendant fort longtemps qui sépare deux états d'équilibre. L'étude du premier état devrait correspondre à ce que l'on appelle l'électricité *statique* et celle du second à l'électricité *dynamique*. Mais les phénomènes qui se rapportent à la période qui sépare deux états d'équilibre électrique ont été divisés en général de la façon suivante : ceux qui se produisent pendant un temps très court ont été rattachés à l'électricité *statique*, et l'on a placé dans l'électricité *dynamique* seulement les faits qui se manifestent pendant une période plus ou moins longue et qui sont intéressants surtout par leur continuité. » (Gariel, *Traité pratique d'électricité*.)

STEARNS (Système). — Système de transmission télégraphique duplex, appliqué par Stearns, et auquel on a donné son nom.

STÉGANOTÉLÉGRAPHIE. — Système télégraphique basé sur la combinaison de la sténographie et de la télégraphie. (V. STÉNOTÉLÉGRAPHIE.)

Steinhell (Charles-Auguste), professeur bava-rois, né à Ribeaupierre (Alsace) le 12 octobre 1801, mort à Munich le 14 septembre 1870. Il a trouvé, en 1838, que l'on pouvait supprimer l'un des deux fils employés auparavant pour les communications télégraphiques entre deux postes et le remplacer par la terre qui agit comme fil de retour. Il inventa un télé-graphie à deux styles. Il a publié des travaux relatifs à l'électricité dans le *Dingler's polytechnic Journal*, t. CXIX, et dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* de Paris. Il a laissé également des mémoires isolés.

STÉNOTÉLÉGRAPHIE. — Appareil imaginé par M. Cassagne, en 1886, pour permettre l'expédition rapide des dépêches télégraphiques météorologiques dans toutes les directions. A l'aide d'appareils à elavier, on fenestre une bande de papier, laquelle, par un mécanisme analogue à celui des instruments de musique jouant automatiquement un air, envoie sous forme de signes sténographiques la dépêche primitive à destination. La bande fenestrée est donc une sorte de cliché qui reproduit avec une grande rapidité (plus de 240 mots par minute) la dépêche originale. (*Académie des Sciences*.)



Microphone stéthoscopique de M. Ducretet.

STÉTHOSCOPE (du grec *stethos*, poitrine; *skopos*, je vois). — Instrument servant à constater les bruits produits à l'intérieur du corps humain, et, par conséquent, à ausculter les poumons et les battements du cœur.

La fig. ci-dessus donne la vue du microphone stéthoscopique construit par M. Ducretet. C'est un microphone à charbon CP à simple contact, dont le charbon inférieur P est adapté à un tambour T à membrane vibrante de M. Marey. Ce tambour est

relié, par un tube de caoutchouc CC', à un autre tambour T', qui est destiné à être appliqué sur les différentes parties du corps et que l'on appelle en conséquence tambour explorateur. La sensibilité de l'appareil est réglée au moyen d'un contrepoids PO, qui se visse sur le bras d'un levier bascule LL auquel est fixé le second charbon C. Cet appareil est ingénieux, et si nous l'avons cité, c'est afin de montrer les tentatives faites pour utiliser le microphone

à l'étude des phénomènes internes de la circulation, de la respiration, etc.; mais il convient de faire observer que sa grande sensibilité est une cause de difficulté pour son emploi. Cependant, le docteur Boudet de Paris a obtenu avec ces appareils des résultats satisfaisants.

STRATES ou STRATIFICATIONS. — Phénomène lumineux produit par des décharges électriques dans les tubes de GEISSER, signalé en 1843 par M. Abria. En opérant avec la décharge d'une BOBINE D'INDUCTION, ce savant obtint, dans un tube renfermant de l'air à la pression de 2 millimètres, une AIGRETTE partant du pôle positif (constitué par une boucle) et n'arrivant pas tout à fait au pôle négatif (constitué par une pointe) où se trouvait un intervalle obscur. Cette flamme ou cette aigrette, qui partait du pôle positif, présentait, notamment à sa partie supérieure (en supposant la pointe négative en haut), des zones relativement obscures et lumineuses; ces zones sont concaves vers la boucle quand la pointe (négative) est rapprochée de cette dernière; elles deviennent convexes vers la boucle, lorsque la pointe en est très écartée (*Annales de chimie et de physique*, t. VII, p. 447). Sir William Grove observa de son côté le phénomène en 1852; puis M. Gassiot l'étudia. M. Spottiswoode, M. de La Rue et M. Muller furent à ce sujet un mémoire à la Société royale, le 8 avril 1875. (V. Gordon, *Traité expérimental d'électricité*, t. II, p. 135.)

SUBSTANCE MAGNÉTIQUE. — (V. MAGNÉTIQUE.)

SUBSTANCE DIAMAGNÉTIQUE. — (V. DIAMAGNÉTIQUE.)

Sulzer (Johann-Georges), professeur de philosophie à Berlin, né à Winterthur (Suisse) le 16 octobre 1720, mort à Berlin le 25 février 1779.

SURFACE DE NIVEAU ou SURFACE ÉQUIPOTENTIELLE. — Surface dont tous les points ont le même POTENTIEL. (V. ÉQUIPOTENTIEL.)

SURFACE (Montage en). — Système d'ACCOUPLERMENT DES PILES ou des MACHINES ÉLECTRIQUES.

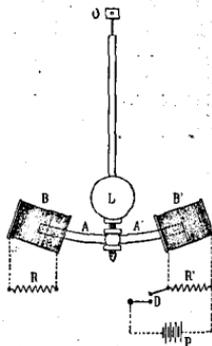
SURSATURATION MAGNÉTIQUE. — État magnétique dans lequel se trouve un aimant susceptible de perdre une partie de son aimantation par suite d'une secousse ou d'une autre influence mécanique. Un aimant est sursaturé lorsqu'il contient plus de fluide séparé que sa FORCE COERCITIVE seule n'en peut maintenir. (V. SATURATION MAGNÉTIQUE.)

SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE. — Propriété que possède un corps quelconque placé dans un CHAMP MAGNÉTIQUE de déterminer par sa présence la séparation de masses magnétiques. Ces masses ainsi séparées sont en nombre proportionnel à l'intensité du champ. (V. MACHINE ÉLECTRIQUE, *Théorie*; *Étude spéciale des champs magnétiques*.)

Coefficient de susceptibilité magnétique ou coefficient d'aimantation induite. — Intensité d'aimantation dans un champ égal à l'unité. Il représente l'intensité d'aimantation induite, et H l'intensité du champ au point où est situé le corps au moment où celui-ci n'y était pas encore plongé, la susceptibilité magnétique a pour expression mathématique $\frac{I}{H}$. (V. MAGNÉTISME, *Théorie*.)

On trouvera au mot PÉRMÉABILITÉ MAGNÉTIQUE les coefficients de susceptibilité de plusieurs métaux.

SYNCHRONISATION DES HORLOGES. — M. Cornu a proposé le système suivant pour la synchronisation des horloges de précision, pour la distribution de l'heure et en général pour toute espèce d'appareils oscillants: il fixe transversalement à la tige du balancier à synchroniser, au-dessus ou au-dessous de lentille L du pendule et dans son plan d'oscillation un barreau aimanté AA' courbé suivant une circonférence ayant son centre au point de suspension et dont les extrémités pénètrent dans l'intérieur de deux noyaux B et B' dont les axes coïncident avec la direction moyenne de déplacement des pôles et A'. La bobine B' est traversée par le courant électrique synchronisant (*liaison synchronique*); e attire le pôle A' qu'elle enveloppe. La bobine B, fermée sur une résistance R et produit, par l'action inductrice de l'autre pôle A, l'amortissement nécessaire à la synchronisation. C'est la présence de cette bobine qui établit une différence entre le disposi-



de M. Cornu et ceux employés par M. Jones et par d'autres inventeurs.

En donnant au barreau AA' et aux bobines B et B' une longueur suffisante relativement à celle du déplacement des pôles, on peut considérer l'intensité des portions utilisées du champ magnétique des bobines comme sensiblement uniforme, et on réalise ainsi d'une manière pratiquement rigoureuse les trois forces capables de produire la synchronisation, savoir: la force principale (composante du poids) proportionnelle à l'écart; la force perturbatrice (amortissement) proportionnelle à la vitesse; et la force additionnelle (liaison synchronique) d'intensité périodique indépendante de la position du système. Le réglage du courant synchronisant lancé à chaque période par l'horloge directrice ou horloge type (à l'aide d'un contact distributeur figuré en D et intercalé dans le circuit d'une pile P) peut être obtenu soit par le nombre et la grandeur des couples de la pile, soit par la durée d'émission du courant, soit enfin par une dérivation R' reliant les extrémités du fil de la bobine B'. Il suffit d'un courant de quelques millibars d'ampères pour mettre en mouvement un balancier de plusieurs kilogrammes partant du repos. C'est un avantage précieux, qui résulte de ces deux faits: 1° l'action électro-magnétique d'une bobine donnée est proportionnelle au produit de l'intensité du courant par la masse magnétique du pôle d'ai-

mant sur lequel elle agit; 2° le courant n'a pas besoin d'être instantané.

On conçoit donc qu'en déterminant convenablement les dimensions du barreau aimanté on puisse multiplier la force électro-magnétique par un nombre considérable, et que dans le cas où l'amortissement est notable on puisse étendre la durée de l'émission du courant jusqu'à une demi-période; il en résulte ainsi une diminution théoriquement indéfinie de l'intensité du courant; mais, en pratique, on est limité par certaines phénomènes secondaires et par la nécessité de donner au courant une intensité suffisante pour qu'il puisse actionner les différents organes intercalés dans le circuit.

L'emploi des courants de faible intensité a le grand avantage d'éviter la production d'ÉTRANGLES D'EXTRACOURANTS de rupture, qui altèrent toujours, à la longue, les contacts du distributeur. L'emploi d'une dérivation R' empêche également les extra-courants de la bobine B' et offre un moyen commode de régler l'action électro-magnétique indépendamment de la pile et du distributeur; c'est un avantage à considérer lorsque l'horloge distributrice est placée à grande distance de l'appareil à synchroniser.

M. Cornu fait remarquer que plus l'amortissement est grand, plus la durée du régime variable est courte, par conséquent plus la synchronisation est rapide, parfaite et indépendante des variations inévitables du courant synchronisant. La grandeur de l'amortissement à employer dépendra donc de l'amplitude des variations anormales, de sorte que le réglage sera surtout fonction des *conditions télégraphiques* du circuit. En pratique, le réglage du courant se fait avec la plus grande facilité.

Le système de synchronisation de M. Cornu est employé, depuis plusieurs années déjà, à l'École polytechnique, notamment à synchroniser deux horloges à secondes, et à l'Observatoire, à synchroniser les deux horloges du pavillon des longitudes. Il a été expérimenté sur deux horloges distantes de 40 kilomètres reliées par une ligne imparfaite, permettant à peine la correspondance télégraphique,

SYNCHRONISME PAR L'ÉLECTRICITÉ

et dans ces conditions peu favorables la synchronisation s'est cependant effectuée d'une façon satisfaisante. En résumé, le problème de la distribution de l'heure avec une grande précision se trouve résolu par le dispositif de M. Cornu. (*Académie des Sciences*, 5 décembre 1887.)

SYNCHRONISME PAR L'ÉLECTRICITÉ.— M. Marcel Deprez a synchronisé électriquement deux mouvements de rotation pour des vitesses comprises entre 0 et 40 tours par seconde en employant un transmetteur composé de deux commutateurs tournant sur le même axe et croisés à angle droit. Ces commutateurs renversent chacun le courant deux fois par tour; les positions de l'axe correspondant à ces inversions se suivent donc à des intervalles d'un quart de tour. Les deux fils, partant du transmetteur, sont parcourus par des courants *a* et *b* dont les alternances forment à chaque tour les combinaisons :

$$(+ a + b); (+ a - b); (- a - b); (- a + b).$$

Quant au récepteur, il se compose de deux bobines Siemens fixées également à angle droit sur un même axe qui se confond avec celui d'un aimant permanent entre les branches duquel tournent les bobines. Quand ces bobines sont traversées par des courants de même intensité mais de signe quelconque, elles se placent dans une position telle que l'angle droit de leurs noyaux est bissecté par la ligne des pôles, et à chaque combinaison de courants correspond une seule position d'équilibre. L'axe du récepteur suit donc tous les mouvements de l'axe du transmetteur, à un quart de tour près et dans les deux sens. Un mouvement quelconque pouvant être regardé comme la résultante de deux mouvements de rotation, cet appareil permet, grâce à l'adjonction d'un mécanisme simple, de transmettre à distance un mouvement de grandeur et de direction quelconques, et par suite le dessin ou l'écriture. (Gordon, *Traité expérimental d'électricité*, Note de Raynaud.)

TABLE D'AMPÈRE. — Nom donné à la table portant les conducteurs fixes et les conducteurs mobiles disposés par Ampère pour l'étude des actions exercées par les courants sur les courants. (V. ÉLECTRO-DYNAMIQUE.)

TABLE D'ÉLECTROTHERAPIE. — Méd. Dans une installation de cabinet, on réunit habituellement sur une seule table les appareils de FARADISATION, de GALVANISATION et les instruments accessoires. L'idée première de cette combinaison paraît appartenir à Brenner. L'appareil qu'il décrit (*Beobachtungen und Untersuchungen auf dem Gebiet der Elektrotherapie*, 1863), avait pour but de permettre de régler à

volonté le mode et la force des applications en dérangeant les électrodes ou tampons placés sur malade, ce qui est indispensable dans l'électrodiagnostic. Ce modèle assez compliqué comprenait trois batteries : une de 60 couples pour le courant galvanique ; une pour l'appareil d'induction à chariot, la troisième munie d'un rhéostat spécial actionné par un interrupteur du courant galvanique. Cet interrupteur, qui n'est plus usité, était constitué par un électro-aimant et un cadran du télégraphe Breguet. Un autre rhéostat, employé le plus souvent en dérivation, servait à graduer le courant galvanique. En fin, sur la table se trouvaient un GALVANOMÈTRE et les pièces nécessaires à l'interruption et au renverse

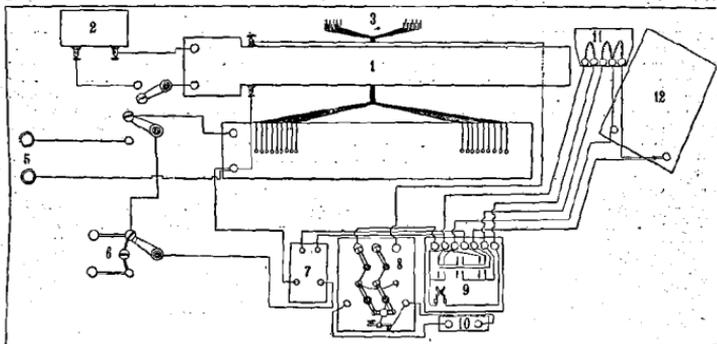


Fig. 1. — Ensemble des communications de la table d'électrothérapie (Plan).

1. Appareil d'induction à bobines induites mobiles et interchangeables.
2. Pile de l'appareil d'induction.
3. Pile de 60 couples Leclanché.
4. Collecteur de la pile de 60 couples, permettant de les prendre un par un jusqu'à 60.
5. Bornes de la dynamo.
6. Boîte de résistances.
7. Commutateur ordinaire.
8. Commutateur inverseur double, muni d'un interrupteur.
9. Commutateur à trois lanières, permettant : la 1^{re}, de connaître l'intensité du courant ; la 2^e, de connaître le potentiel aux bornes de la pile ; la 3^e, de connaître le potentiel aux rhéophores appliqués aux malades.
10. Bornes servant à attacher les excitateurs.
11. Boîte à shunts et résistance compensatrice.
12. Galvanomètre à déviations proportionnelles de M^l. Marcel Deprez et d'Arsonval.

ment du courant. Nous ne nous arrêterons pas davantage sur cet appareil ; il n'a plus aujourd'hui d'intérêt pratique.

À l'Exposition de 1881 on a pu voir plusieurs tables d'électrothérapie, à la fois simples et mieux adaptées aux exigences actuelles, entre autres celles construites par Hirschmann, de Berlin, et par Andréveau, cette dernière pour le D^r Vigouroux. Depuis, Gaiffe en a disposé de plus complètes pour

le même praticien. Enfin, M. E. Remak, de Berlin, a donné dans son récent *Traité d'électrothérapie* (1886), la description de la table dont il se sert. Elle peut être considérée comme une simplification de celle de Brenner.

Nous ne parlerons avec détail que de la table construite récemment (1886) par la maison Breguet, sur les indications du D^r Vigouroux, pour le service d'électrothérapie de la Salpêtrière. De même que les

appareils précédents, elle réunit les courants faradique et galvanique. On y trouve quelques perfectionnements dans les parties qui lui sont communes avec les autres tables et de plus quelques éléments tout à fait nouveaux. En conséquence, ainsi qu'on le verra,

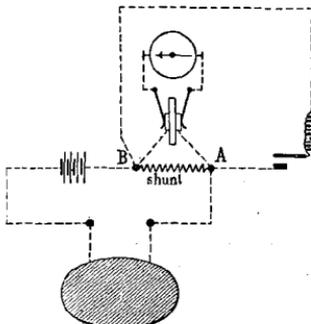


Fig. 2. — Dispositif des communications dans le cas où l'on veut mesurer l'intensité du courant passant à travers le sujet.

elle permet certaines opérations importantes que jusqu'à présent l'électrothérapie a négligées.

La fig. 1 représente l'ensemble des communications. Les couples Luclanché, au nombre de 60, sont rangés sur les tablettes d'un meuble spécial, lequel peut être placé dans une pièce voisine. Les fils, réunis en un seul câble (3), traversent le mur et se rendent au collecteur (4). Pour celui-ci, la disposition adoptée permet d'introduire les couples un à un dans le circuit, de les prendre dans une position quelconque de la pile et de donner au courant le sens que l'on veut. Ces avantages, sauf le premier, se trouvaient déjà réalisés dans le collecteur à double cadran de Gaiffe (V. ÉLECTRICITÉ MÉCANIQUE, p. 220). Celui que nous décrivons peut être regardé comme une modification de celui-là. Au lieu de se répéter sur deux cadrans, les bornes, en nombre égal à celui des couples, plus un, sont rangées sur une seule ligne droite. Le contact est pris au moyen de deux lames élastiques et mobiles le long de deux tiges représentant les pôles. Il est à remarquer que dans les collecteurs autres que celui de Gaiffe, où les couples sont pris deux à deux, ils sont pris à partir du dixième par groupe de cinq ou de dix. Il en résulte une très grande complication de manœuvre pour éviter, comme cela doit se faire, les interruptions intempestives et les brusques variations d'intensité. Par exemple, dans le collecteur de M. E. Remak, il est difficile de passer de dix couples à onze sans faire subir au patient deux chocs consécutifs, le premier à l'ouverture du circuit, le deuxième à sa fermeture sur dix couples.

Une autre pièce importante et originale est le com-

mutateur de galvanomètre (9). Il sert à faire indiquer à volonté par le même instrument l'intensité du courant ou la force électromotrice entre deux points du circuit. Ces points sont : 1° les pôles de la pile ou portion de pile employée; 2° les bornes terminales de la table (10), ou, ce qui revient au même, les électrodes. Les fig. 2 et 3 montrent la disposition du circuit dans ces deux manières d'utiliser l'instrument.

Dans la première, le galvanomètre (fig. 1, n° 12), shunté (11), est dans le circuit et donne l'intensité. Dans la deuxième, il fonctionne comme voltmètre. Il est alors placé en dérivation sur les points indiqués et deux nouvelles résistances sont introduites (11) : l'une, dans le circuit principal, remplace celle du galvanomètre, de sorte que l'intensité du courant qui traverse le corps n'est pas modifiée; l'autre est dans le circuit dérivé. Les communications nécessaires à ces divers usages sont établies par le simple abaissement d'un des trois leviers du commutateur. On peut les suivre sur la figure générale (fig. 4), où les différentes parties sont facilement reconnaissables. Voici les valeurs des résistances : cadre du galvanomètre (Marcel Deprez et d'Arsonval), 500 ohms; shunt, 20 ohms; résistance totale, 19,2 ohms; bobine de circuit, 5.000 ohms.

L'adjonction de ce nouveau commutateur a une très grande portée. D'abord elle permet d'évaluer exactement et à tout instant, dans le cours des applications, une quantité jusqu'ici négligée, la force électromotrice. Ainsi se trouve satisfait un desideratum vivement senti par les physiologistes, sinon par les médecins; ensuite, au moyen de cette quantité et de l'intensité, elle donne, par un simple calcul, la résistance du corps. On a là, pour mesurer cette dernière, dont l'importance est si grande, un moyen

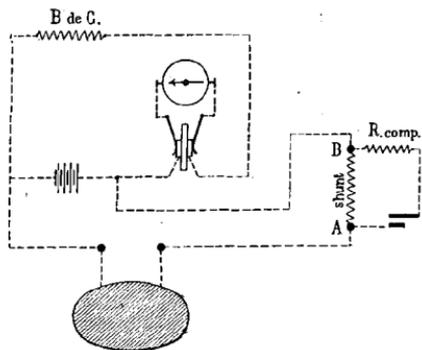


Fig. 3. — Dispositif des communications dans le cas où l'on veut mesurer la différence de potentiel du courant passant à travers le sujet.

pratique bien plus commode que le pont de WHEATSTONE et les autres procédés de laboratoire jusqu'ici employés par les expérimentateurs. Sur le trajet du courant se trouvent les organes accessoires, qui ne diffèrent guère que par une forme plus simple des organes analogues des autres tables. Ainsi on remarque un inverseur et un interrupteur (7 et 8); celui-ci est une sorte de clef Morse.

Enfin, un rhéostat (6) ou boîte de résistances

peut à volonté être introduit dans le circuit ou mis en dérivation. Le fil correspondant à cette dernière disposition n'est pas représenté sur la fig. 1. Il part d'une manette située au-devant de celle figurée en 6 et aboutit à la borne de gauche de l'interrupteur (7). C'est de cette deuxième manière seulement, pour obtenir des gradations de courant, que Brenner et avec lui presque tous les auteurs emploient le rhéostat, procédé tout à fait empirique.

A vrai dire Brenner n'avait pas d'autre moyen de gradation. Son galvanomètre était un simple GALVANOSCOPE et, pour évaluer le courant, il tenait compte à la fois du nombre des couples (habituellement 30) et du nombre d'unités de résistance de la dérivation. Actuellement, l'utilité principale du rhéostat est de prévenir les brusques changements d'intensité indésirables avec les collecteurs ordinaires. M. Vigouroux pense que, dans la pratique, on peut très bien se passer de cet instrument. Il est rare, en effet, que l'on ait à se préoccuper du choc produit par l'addition d'un couple, comme cela a lieu dans le collecteur qui vient d'être décrit. Le cas peut cependant se présenter dans la galvanisation de l'œil, par exemple, chez des sujets de très faible résistance. Le mieux serait alors, suivant M. Vigouroux, de

recourir à un petit rhéostat liquide. L'appareil faradique est placé derrière le collecteur et parallèlement à ce dernier (4). C'est le chariot ordinaire de Du Bois Reymond, tel que le construisit Galiffe, mais avec une disposition spéciale pour faciliter le remplacement d'une bobine par une autre sans qu'il y ait de fils à détacher. Comme dans son modèle de 1881, M. Vigouroux a muni les bobines mobiles de deux ailettes qui établissent leur contact avec deux tringles continues par les fils de la table.

La batterie spéciale de l'appareil d'induction, contenue dans une boîte (2), se compose simplement de deux couples Leclanché.

Une disposition imitée de M. de Watteville permet l'emploi simultané de deux courants faradiques et galvanique. Enfin, sur divers points du circuit, des prises de courants sont ménagées pour l'introduction des divers instruments d'un usage éventuel; par exemple, un métronome interrupteur, un VOLTA-MÈTRE, etc. On a prévu notamment le cas où l'on voudrait substituer à la batterie galvanique une autre source d'électricité (batteries 5).

TABLE DE MESURE. — (V. MESURES ÉLECTRIQUES, Méthode du pont de Wheatstone.)

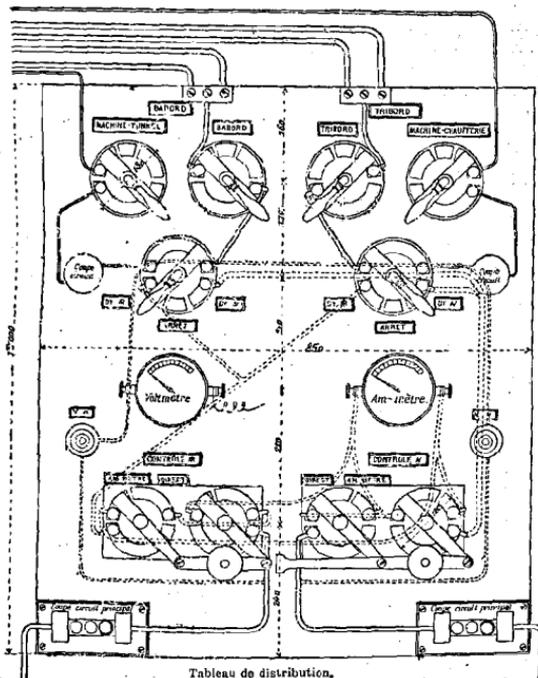


Tableau de distribution.

TABLEAU DE DISTRIBUTION. — Tableau sur lequel on groupe divers instruments de mesures et

de contrôle (COMMUTATEURS, COUPE-CIRCUIT principaux, RHÉOSTATS, etc.) servant à assurer la régularité

du service dans les diverses parties d'une installation d'éclairage électrique. Ces tableaux, qui doivent être placés en vue de l'ouvrier chargé de veiller au fonctionnement normal de tous les appareils, ont une composition variable, dépendant du nombre des dynamos et des circuits, du genre de brûleurs, de leur mode de montage, des heures d'allumage et d'extinction, etc. Nous reproduisons la vue en élévation du tableau de distribution de l'éclairage électrique à bord du paquebot-poste *Océanien*. (V. ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE. *Eclairage des navires*. — On trouvera d'autres exemples d'installations de ce genre au même mot, *Eclairage électrique, à Angers, chez M. Collin*. — V. RUSSI STATION CENTRALE.)

TABLEAU INDICATEUR ou Tableau d'appartement. — Appareil servant à désigner, au moyen de



Fig. 1. — Vue extérieure d'un Tableau à 6 guichets.

guichets indiquant les diverses pièces d'un appartement, celle où l'on a sonné.

Le tableau indicateur est toujours accompagné

TABLEAU INDICATEUR

d'une **SONNERIE**, qui suffit pour toutes les pièces d'un même local, et qui ne fait qu'appeler l'attention sur le tableau où apparaît l'indication du lieu d'appel.

En appuyant sur un bouton placé au bas du tableau, on fait disparaître les voyants apparus devant les guichets et on replace ainsi l'appareil dans les conditions primitives, prêt à recevoir de nouvelles indications.

La fig. 1 donne la vue extérieure d'un tableau indicateur, et la fig. 2 une vue intérieure, ainsi que le schéma des communications pour un tableau à deux directions. Cette figure permet de se rendre compte du fonctionnement du mécanisme, qui est fort simple.

Il y a autant d'ÉLECTRO-AIMANTS dans le tableau que de guichets, et chacun de ces électros, ainsi que le bouton d'appel, est intercalé dans le circuit d'une pile.

Entre les bobines de l'électro se trouve une aiguille aimantée portant un voyant mobile autour d'un axe

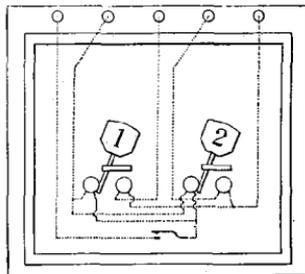


Fig. 2. — Vue intérieure d'un Tableau à 2 guichets.

horizontal. Quand le circuit de la pile est ouvert, c'est-à-dire lorsqu'on ne presse pas sur le bouton d'appel, et que par conséquent aucun courant ne

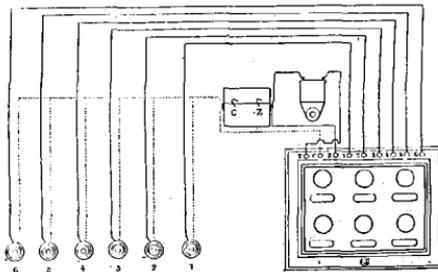


Fig. 2. — Schéma d'installation d'une Sonnerie avec tableau à 6 guichets.

passé dans l'électro-aimant, l'aiguille est inclinée vers la droite et le voyant est caché par le couvercle du tableau. Mais dès qu'on presse sur le bouton d'appel, le courant de la pile est envoyé dans l'électro; il se produit dans la partie supérieure du noyau de cet électro un pôle de même nom que celui de l'aiguille aimantée, qui est alors repoussée; elle bascule, le voyant vient se placer devant le guichet et reste

apparent tant qu'on n'appuie pas sur le bouton du tableau, qui est disposé comme les boutons d'appel sert à former un circuit local agissant dans les bobines, en sens inverse du précédent.

Quant à la sonnerie, elle est montée en dérivation sur chacun des circuits d'appel de façon à fonctionner chaque fois qu'un voyant est amené devant son guichet. La fig. 3 donne le schéma de pose d'un

tableau à six numéros avec disparition électrique, et d'une sonnerie.

Les tableaux indicateurs se posent contre le mur. Les bornes, montées sur le socle du tableau à la partie supérieure, servent à fixer les fils conducteurs. Quel que soit le nombre des guichets, les trois premières bornes sont affectées au même service. La première, T, est reliée à la sonnerie; la deuxième, C, au pôle positif de la pile et la troisième, Z, au pôle négatif. Les bornes suivantes, qui sont en nombre égal à celui des guichets 1, 2, 3, 4, 5 et 6, sont reliées aux fils correspondant à chacun de ces guichets et qui aboutissent aux boutons de sonnerie portant le même numéro. Le fil de retour est indiqué en pointillé sur la figure.

TABOURET ISOLANT. — Tabouret à pieds de verre sur lequel on place les personnes ou les objets qu'on veut isoler pour les électriser.

TACHYGRAPHE. — Appareil imprimeur rapide. Chappé avait désigné sous ce nom son télégraphe à signaux. (V. TÉLÉGRAPHE.)

TACHYMÈTRE (du grec *tachus*, rapide; *metron*, mesure). — Instrument destiné à mesurer la vitesse du mouvement d'une machine.

Tachymètre électrique. — Imaginé par Horn, de Leipzig; il est fondé sur l'expérience d'Arago, sur la déflexion d'un barreau aimanté suspendu au-dessus d'un disque de cuivre entre tenu en rotation, déflexion qui a lieu dans le sens de la rotation. M. Horn remplace le CHAMP MAGNÉTIQUE faible de la terre par celui d'un fort AIMANT d'acier en fer à cheval, l'aiguille par une armature de fer doux, et le disque de cuivre par une forte capsule de même métal. L'armature se meut dans le plan de l'aimant à l'intérieur de la capsule de cuivre. Les COURANTS DE FOUCAULT étant proportionnels à l'intensité du champ et à la vitesse de rotation, et le moment magnétique qui tend à ramener l'armature à sa position normale, au moins entre les limites 0° et 45°, étant aussi proportionnel à l'angle de déflexion, celle-ci sera en raison directe de la vitesse. L'appareil est étalonné expérimentalement. M. Horn a reconnu que de petites variations dans la force du champ magnétique n'influent pas sensiblement sur les indications de l'armature.

TAPER. — Mot anglais que l'on emploie pour désigner une clef de court circuit installée entre les bornes d'un GALVANOMÈTRE pour empêcher le passage accidentel de courants trop puissants à travers ses bobines. (V. COMMUTATEUR.)

TASIMÈTRE. — (V. MICROTASIMÈTRE.)

TAXATION. — Action de TAXER.

TAXE d'un télégramme. — Coût d'un TÉLÉGRAMME établi d'après les RÉGLEMENTS en vigueur.

Les télégrammes qui, au moment de leur dépôt, ont été reconnus lisibles et réguliers de forme et de fond, c'est-à-dire transmissibles, sont immédiatement examinés au point de vue de l'application des taxes : ils sont, à cet égard, soumis à deux régimes différents : 1° le régime intérieur; 2° le régime international. Le régime international se subdivise en régime européen et régime extra-européen.

Le service intérieur comprend la France, la Corse et l'Algérie, ainsi que les bureaux en Tunisie et dans la principauté de Monaco.

Le régime européen comprend toute l'Europe, l'Al-

gérie, la Tunisie, la Turquie d'Asie, Tripoli et la Ionie française du Sénégal.

Le régime extra-européen comprend :

En Asie : l'Arabie (Aden, Djedda et La Mecque) Perso et le golfe Persique, la Russie d'Asie, le Kachistan, l'Afghanistan, l'Indoustan, la Birmanie presque de Malacca, Penang, Singapore, la Cochinchine française, la Chine, le Japon, Siam et le Cambodge.

En Afrique : l'Égypte, Zanzibar, Mozambique, Saint-Lorenzo-Marqués, les colonies anglaises Natal et du Cap, les îles de Madère et de Saint-Vincent.

En Amérique : l'île de Saint-Pierre et Miquel, les États de l'Amérique britannique, les États-Unis, le Mexique, les Antilles, Panama, la Guyane anglaise, Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa-Rica, le Brésil, l'Uruguay, la République Argentine, le Chili et le Pérou, la Colombie, l'Équateur, la Bolivie et le Venezuela.

En Océanie : l'Australie (provinces de l'Ouest et Sud, Queensland, Nouvelle-Galles du Sud, Victoria, la Tasmanie, la Nouvelle-Zélande et les Indes néerlandaises.

C'est en général l'itinéraire ou la voie admise pour la transmission du télégramme qui décide du régime auquel ce télégramme doit être soumis.

Les correspondances échangées entre deux pays : régime européen par l'intermédiaire de lignes ; régime extra-européen, ainsi que les correspondances échangées entre un pays du régime européen et un pays du régime extra-européen, suivent, sur tout le parcours, les règles du régime extra-européen.

Dans tous les régimes on admet une taxe principale celle à laquelle sont soumis tous les télégrammes simples, et des taxes accessoires dont, indépendamment de la taxe principale, sont frappés les télégrammes spéciaux.

Dans tous les régimes c'est le mot qui sert de base au tarif et qui est l'unité de taxe, qu'il s'agisse de télégrammes simples aussi bien que de télégrammes spéciaux.

Il est donc d'une extrême importance que le compte des mots soit établi avec une rigoureuse exactitude.

Tout ce que l'expéditeur a écrit sur la minute du son télégramme pour être transmis doit entrer dans le calcul de la taxe et être compris à cette fin dans le nombre de mots, sauf les signes de ponctuation, traits d'union, apostrophes, guillemets, parenthèses, alinéas et indication de la voie. Le nom du bureau de départ, la date et l'heure du dépôt n'entrent dans le compte des mots que si l'expéditeur a inséré ces indications, en tout ou en partie, dans le texte du son télégramme.

Le compte des mots s'établit de la manière suivante :

(a) Dans le service intérieur (français).

Pour les télégrammes en langage clair, toutes les expressions françaises ne sont comptées que pour un seul mot lorsqu'elles sont comprises au Dictionnaire de l'Académie, et formant le titre majuscule d'un article spécial (1).

En conséquence, doivent être comptées pour un seul mot :

1° Les expressions françaises, même composées,

(1) A défaut du Dictionnaire de l'Académie, le compte des mots se fait d'après les dictionnaires en usage dans les bureaux, mais en cas de désaccord entre les documents consultés, ce sont toujours les indications contenues dans la dernière édition du Dictionnaire de l'Académie qui font loi.

servant de titre à un article spécial au *Dictionnaire de l'Académie*;

2° Les dénominations qui, s'appliquant à un seul et même objet, ont été établies par actes officiels pour désigner les circonscriptions administratives (départements), les localités (villes, communes, hameaux, bourgs), les voies publiques (rues, avenues, boulevards, quais, cours, places, passages, ruelles, carrefours) et les numéros des habitations, toutes les fois que les termes employés pour les indiquer sont écrits dans la langue usité en France. Ces dénominations officielles, lors même qu'elles sont composées de plusieurs mots, peuvent être écrites en un seul mot.

Les noms propres de personnes, les titres, prénoms, particules ou qualifications, ainsi que les nombres écrits en toutes lettres peuvent, de même, être réunis en un seul mot dont le maximum de longueur est alors fixé à quinze lettres. On compte pour deux mots toute expression ainsi formée et comprenant plus de quinze lettres.

En dehors de ces dénominations officielles et des catégories de mots énumérées dans l'alinéa précédent, toutes les réunions ou altérations de mots contraires à l'usage de la langue sont rigoureusement interdites.

En cas de doute pour les locutions françaises, et, en règle générale, pour les télégrammes rédigés en langue étrangère ou en langage convenu, le maximum de longueur d'un mot est fixé à quinze caractères, selon l'alphabet Morse; l'excédent, toujours jusqu'à concurrence de quinze caractères, est compté pour un mot.

(b) Dans le service international :

1° **Européen.** — Le maximum de longueur d'un mot est fixé à quinze caractères selon l'alphabet Morse; l'excédent, toujours jusqu'à concurrence de quinze caractères, est compté pour un mot.

2° **Extra-européen.** — Ce maximum est fixé à dix caractères.

Dans ces deux régimes, les expressions réunies par un trait d'union sont comptées pour le nombre de mots qui servent à les former. Toutefois, aussi bien pour la correspondance du régime européen que pour celle du régime extra-européen, sont comptés respectivement pour un seul mot, *mais seulement dans l'adresse*, le nom du bureau destinataire et le nom du pays de destination, quel que soit le nombre des caractères employés, sous la condition que les noms propres soient écrits comme ils figurent dans la nomenclature officielle du Bureau international.

Les mots séparés par une apostrophe sont comptés pour autant de mots isolés.

Les réunions ou altérations de mots contraires à l'usage de la langue ne sont point admises. Toutefois les noms propres de villes et de personnes, les noms de lieux, places, boulevards, rues, etc., les noms de navires ainsi que les nombres écrits en toutes lettres, sont comptés, jusqu'à quinze lettres dans le régime européen, et jusqu'à dix lettres dans le régime extra-européen pour le nombre de mots employés par l'expéditeur à les exprimer.

Tout caractère isolé, lettre ou chiffre, est compté pour un mot; il en est de même du souligné.

Les signes de ponctuation, traits d'union, apostrophes, guillemets, parenthèses, alinéas, ne sont pas comptés. (Sur les lignes extra-européennes la transmission de ces signes n'est pas obligatoire.)

Le Gh, qui est représenté dans l'alphabet Morse par un signe spécial, ne compte que pour une lettre dans les correspondances en langage clair ou en langage convenu, mais il compte pour deux lettres dans les télégrammes chiffrés.

Les exemples suivants indiquent la manière de compter les mots dans les télégrammes en langage clair ou convenu, sauf l'exception prévue à l'alinéa qui commence par les mots : « Dans ces deux régimes. »

COMPTE DES MOTS.	CORRESPONDANCE		
	INTÉRIEURE.	INTERNATIONALE	
		Européenne.	Extra-européenne.
Responsabilité (14 caractères).....	1 mot.	1 mot.	2 mots.
Kriegsgeschichten (15 caractères).....	1 mot.	1 mot.	2 mots.
Inconstitutionnalité (20 caractères).....	4 mot.	2 mots.	2 mots.
Statwissenschaftlich (20 caractères).....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
A-E-I.....	3 mots.	3 mots.	3 mots.
Aujourd'hui.....	1 mot.	2 mots.	2 mots.
Aujourd'hui (écrit sans apostrophe).....	1 mot.	1 mot.	1 mot.
C'est-à-dire.....	4 mots.	4 mots.	4 mots.
Seine-et-Marne.....	1 mot.	3 mots.	3 mots.
Somme-et-Marne.....	1 mot.	1 mot.	2 mots.
Arce-les-Gray.....	1 mot.	3 mots.	3 mots.
Arlesgray.....	1 mot.	1 mot.	1 mot.
Des Lavandières-Ste-Opportune (nom de rue).....	4 mot.	4 mots.	5 mots.
Deslavandièressteopportune (nom de rue).....	1 mot.	2 mots.	3 mots.
33 ter (numéro de rue).....	1 mot.	2 mots.	2 mots.
Frankfurt am Main.....	3 mots.	3 mots.	3 mots.
Frankfurt a/M.....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
New South Wales.....	3 mots.	3 mots.	3 mots.
Newsouthwales (13 caractères).....	1 mot.	1 mot.	2 mots.
Deux cent trente-quatre.....	4 mots.	4 mots.	4 mots.
Deuxcenttrentequatze (20 caractères).....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
Two hundred and thirty four.....	5 mots.	5 mots.	5 mots.

COMPTE DES MOTS.	CORRESPONDANCE		
	INTÉRIEUR.	INTERNATIONALE	
		Européenne.	Extra-européenne.
Twohundredandthirtyfour (23 caractères).....	2 mots.	2 mots.	3 mots.
De suite.....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
Deux cent quatre-vingts.....	3 mots.	4 mots.	4 mots.
Compagnie P. L. M.....	4 mots.	4 mots.	4 mots.
Compagnie PLM.....	4 mots.	4 mots.	4 mots.
S. V. P. (signifiant s'il vous plaît).....	3 mots.	»	»
Frankfurtmain.....	1 mot.	1 mot.	2 mots.
Rio-de-Janeiro.....	3 mots.	3 mots.	3 mots.
Hyde-Park.....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
Hydepark.....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
Hydeparksquare.....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
Belgrave square.....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
Belgravesquare.....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
Saint-James street.....	3 mots.	3 mots.	3 mots.
Saintjames street.....	2 mots.	2 mots.	2 mots.
Princeofwales (navire).....	1 mot.	1 mot.	2 mots.
Villeduhavre (navire).....	1 mot.	1 mot.	2 mots.
L'affaire est urgente, partir sans retard (7 mots et 2 sous- lignés).....	9 mots.	9 mots.	9 mots.

Dans le service intérieur et dans le service international, régime européen, les nombres écrits en chiffres sont comptés chacun pour autant de mots qu'ils contiennent de fois cinq chiffres, plus un mot pour l'excédent. La même règle est applicable au calcul des groupes de lettres.

Pour la correspondance extra-européenne, le nombre de mots auquel correspond un groupe de chiffres ou de lettres s'obtient en divisant les chiffres par trois et ajoutant, s'il y a lieu, un mot pour le reste. Sont comptés pour un chiffre les points et les virgules qui entrent dans la formation des nombres, ainsi que les barres de division. Les lettres ajoutées

aux chiffres pour désigner les nombres ordinaires sont comptées chacune pour un chiffre.

Dans les télégrammes qui contiennent un langage convenu ou un langage chiffré, les mots clairs et les mots en langage convenu admis sont comptés conformément aux règles admises pour le langage ordinaire ; les groupes de chiffres ou de lettres, ainsi que les mots, noms ou assemblages de lettres non admis dans le langage clair ou convenu, sont comptés comme les nombres écrits en chiffres.

Les exemples suivants déterminent plus particulièrement la manière de compter les chiffres. Ils s'appliquent également aux expressions du langage chiffré.

COMPTE DES MOTS.	CORRESPONDANCE		COMPTE DES MOTS.	CORRESPONDANCE	
	INTÉRIEUR OU INTERNATIONALE EUROPÉENNE.	EXTRA- EUROPÉENNE.		INTÉRIEUR OU INTERNATIONALE EUROPÉENNE.	EXTRA- EUROPÉENNE.
44 1/2 (5 chiffres et signes)....	1 mot.	2 mots.	44/2.....	1 mot.	2 mots.
444 1/2 (6 chiffres et signes)....	2 mots.	2 mots.	44/.....	1 mot.	1 mot.
444,5 (5 chiffres et signes)....	1 mot.	2 mots.	2 %.....	1 mot.	2 mots.
444,56 (6 ch. et s.)	2 mots.	2 mots.	2 p. %.....	3 mots.	3 mots.
10 francs 50 cent. ou 10 fr. 50 c.	4 mots.	4 mots.	Huit/10.....	2 mots.	2 mots.
10 fr. 50.....	3 mots.	3 mots.	5/douzièmes.....	2 mots.	2 mots.
Fr. 10,50.....	2 mots.	3 mots.	320.....	1 mot.	1 mot.
11 h. 30.....	3 mots.	3 mots.	3250.....	1 mot.	2 mots.
11,30.....	1 mot.	2 mots.	3056486917.....	2 mots.	4 mots.
Le 17.....	2 mots.	3 mots.	Amb.....	1 mot.	1 mot.
Le 1529.....	3 mots.	3 mots.	Ambr.....	1 mot.	2 mots.
			Ambrdfg.....	2 mots.	3 mots.
			54.58.....	2 mots.	2 mots.
			30 exposant a...	3 mots.	3 mots.
			15 multiplié par 6.	4 mots.	4 mots.

Pour les marques de commerce, les chiffres et les lettres doivent être comptés séparément ; les barres de division ont la même valeur que les chiffres ou les

lettres, suivant qu'elles entrent dans la composition d'un groupe de chiffres ou d'un groupe de lettres ; enfin, les lettres séparées par des points sont consi-

décés comme autant de caractères isolés et comptés chacune pour un mot, les points étant, dans ce cas, traités comme des signes de ponctuation et transmis gratuitement.

Les exemples suivants complètent les indications relatives au compte des mots dans les marques de commerce.

COMPTE DES MOTS.	CORRESPONDANCE	
	INTÉRIEURE OU INTERNATIONALE EUROPÉENNE.	EXTRA- EUROPÉENNE.
E.....	1 mot.	1 mot.
E. M.....	2 mots.	2 mots.
Emvlf.....	2 mots.	2 mots.
tmrlz.....	1 mot.	2 mots.
CH23.....	2 mots.	2 mots.
ADVGMY.....	2 mots.	2 mots.
AP.....		
M.....	1 mot.	2 mots.
3.....		
N.....	2 mots.	2 mots.
C. H. F. 45.....	4 mots.	4 mots.

La taxe des télégrammes **simples** est, dans la correspondance intérieure, calculée comme suit :

1° Entre les bureaux de la France continentale et de la Corse, ou entre les bureaux d'Algérie (ou de Tunisie) et, par assimilation, entre les bureaux français et les bureaux de la principauté de Monaco, ou entre ces derniers :

De un à dix mots..... 0,50 cent.
 Au delà de dix mots, et sans limites, par mot..... 0,05 —

2° Entre les bureaux de la France continentale et de la Corse et, par assimilation, les bureaux de la principauté de Monaco, d'une part, et les bureaux de l'Algérie (ou de la Tunisie), d'autre part :

De un à dix mots..... 1 franc.
 Au delà de dix mots, et sans limites, par mot..... 0,10 cent.

Taxe des télégrammes échangés par l'intermédiaire des tubes pneumatiques à l'intérieur de Paris, sur des formules spéciales affranchies :

Dépêche ouverte..... 0,30 cent.
 Dépêche fermée..... 0,50 —
 Dépêche ouverte avec réponse payée..... 0,60 —
 Dépêche sous enveloppe fermée..... 0,60 —
 Dépêche fermée avec réponse payée..... 1 franc.

Taxe maritime des télégrammes **sémaphoriques** (1) applicable au trajet entre le sémaphore et le navire en mer :

Par télégramme de vingt mots.. 1 franc.
 Par chaque série indivisible de dix mots au-dessus de vingt mots..... 0,50 cent.

Dans le service intérieur, les dépêches **télégraphiques de presse**, c'est-à-dire exclusivement adressées

(1) Cette taxe s'ajoute à la taxe du télégramme.

à des journaux ou publications périodiques et des linées à la publicité, sont admises à bénéficier d'une réduction de 50 % sur le tarif des télégrammes ordinaires, sous les conditions suivantes :

Les journaux qui voudront bénéficier de la réduction devront faire connaître, par demande adressée à la Direction générale des Postes et Télégraphes, leurs correspondants chargés de déposer leurs dépêches de presse. Il est délivré à ces correspondants une « carte d'admission au tarif réduit » servant en même temps de carte d'identité.

Les dépêches de presse admises à bénéficier de la réduction, doivent être rédigées en langage clair. Le langage chiffré ou convenu est absolument interdit. Elles ne peuvent être adressées par le correspondant qu'au journal désigné par la carte.

Elles ne doivent contenir que des informations destinées à être publiées dans le journal, à l'exclusion de toute communication en provenance ou à destination de tiers.

Le minimum de taxe est de 50 centimes, comme pour les dépêches ordinaires.

Les télégrammes de presse ne peuvent être déposés que dans les bureaux télégraphiques d'Etat ou municipaux, à l'exclusion, par conséquent, des gares ouvertes à la télégraphie privée, des postes sémaphoriques et des bureaux d'écluses ou de barrages.

Ne sont pas admis à bénéficier de la réduction des télégrammes qui comporteraient la perception de taxes accessoires et, d'une façon générale, les télégrammes spéciaux, sauf cependant les télégrammes multiples. Pour ces derniers, la taxe principale est seule réduite de 50 %; les frais de copie sont les mêmes que pour les télégrammes ordinaires.

Les dépêches multiples admises à la réduction dans les conditions du paragraphe précédent doivent être adressées exclusivement à des journaux ou des agences de publicité. Dans le cas où un ou plusieurs destinataires ne seraient pas des journaux ou agences, le tarif plein serait appliqué.

Ces dispositions s'appliquent également aux télégrammes de presse circulant à l'intérieur de l'Algérie et de la Tunisie; mais les télégrammes de presse échangés entre la métropole et l'Algérie et la Tunisie ou réciproquement sont taxés d'après le tarif normal.

Dans le service international, le tarif applicable aux correspondances est fixé conformément aux tableaux dressés par la Confédération de Berlin (soit 1885), sauf les modifications du taux ou des bases d'application des tarifs arrêtés entre États intéressés.

La taxe est établie par mot sur tout le parcours. Dans la correspondance européenne, à défaut d'arrangements particuliers entre États intéressés, la taxe s'établit sans condition de minimum pour le nombre de mots. La taxe est calculée d'après la voie la plus directe et la moins coûteuse entre le point de départ du télégramme et son point de destination, à moins que l'expéditeur n'ait indiqué une autre voie ou que la voie la plus directe, qui s'appelle *voie normale*, ne soit momentanément interrompue. Dans ce dernier cas, le télégramme est taxé par la moins coûteuse des autres voies portées au tableau général du tarif. Si l'expéditeur indique spécialement le voie qu'il veut faire suivre à son télégramme, on mentionnant cette voie soit au bas, soit en marge de la minute du télégramme, la taxe applicable est alors calculée d'après cette voie et suivant les indications du tableau général des tarifs internationaux.

Le tableau ci-après indique les taxes à percevoir en France par les voies normales, pour la correspondance soumise au régime européen :

PAYS CORRESPONDANTS.	TAXE	PAYS CORRESPONDANTS.	TAXE
	par mot.		par mot.
	fr. c.		fr. c.
Allemagne.....	0 20	Luxembourg :	
Autriche.....	0 25	a. Relations frontières.....	0 05
Belgique :		b. Relations générales.....	0 125
a. Correspondance frontière.....	0 10	Malte (île de).....	0 40
b. Correspondance générale.....	0 15	Monténégro.....	0 30
Bissao.....	7 25	Norvège.....	0 40
Bolama.....	7 15	Pays-Bas.....	0 20
Bosnie-Herzégovine.....	0 30	Portugal.....	0 28
Bulgarie.....	0 35	Roumanie.....	0 30
Canaries.....	1 70	Russie d'Europe et du Caucase.....	0 50
Conakry.....	7 30	Sénégal.....	2 50
Danemark.....	0 30	Serbie.....	0 30
Espagne.....	0 20	Suède.....	0 35
Gibraltar.....	0 25	Suisse :	
Grande-Bretagne.....	0 25	a. Relations frontières.....	0 10
Grèce :		b. Relations générales.....	0 15
a. Grèce continentale et Ile de Paros.....	0 55	Tripolitaine.....	1 20
b. Iles, moins Paros.....	0 60	Turquie d'Europe et d'Asie, y compris les Iles.....	0 55
Héligoland (île de).....	0 30		
Italie.....	0 20		

Le tableau général des taxes contient, pour chaque pays, la taxe par mot par la voie normale ou par les autres voies les plus fréquemment employées, et diverses autres indications nécessaires pour l'application régulière des tarifs.

Dans le régime extra-européen, le tarif est également établi par mot.

Le tarif applicable aux correspondances à destination des pays soumis à ce régime se subdivise en six tableaux, correspondant à de grandes divisions territoriales. Dans chacun de ces tableaux, les différents pays de destination sont portés dans leur ordre alphabétique. On y trouve également les règles particulières applicables, dans certains cas, aux télégrammes empruntant la voie sous-marine, et, d'une manière générale, toutes les indications qui peuvent être utiles pour diriger et taxer les dépêches.

Les receveurs des Postes et Télégraphes sont autorisés à vendre au public le « Tarif télégraphique ».

Le montant de la taxe appliquée en vertu des règles qui précèdent constitue ce qu'on peut appeler le principal de la taxe. A ce principal, s'ajoutent nécessairement des taxes complémentaires dites, taxes accessives, toutes les fois que l'expéditeur inscrit sur sa minute certaines indications éventuelles spéciales auxquelles les correspondances de cette catégorie doivent leur nom de télégrammes spéciaux. Ceux-ci, au point de vue de leur taxation, sont soumis aux règles complémentaires ci-après :

Les télégrammes officiels sont expédiés en franchise.

Les taxes à percevoir sur les télégrammes mandats se composent :

A — Dans le service intérieur :

1° D'un droit fixe de 1 % sur le montant du mandat, comme pour les autres mandats d'articles d'argent français ;

[Il est loisible à l'envoyeur d'acquitter le droit de 1 % en sus de la somme à transmettre ou de la faire prélever sur la somme déposée (1).]

(1) N. B. Dans le premier cas, l'opération ne présente aucune difficulté.

Dans le second, on obtient le droit de 1 % en divisant

2° De la taxe télégraphique ordinaire ;

3° D'un droit de 50 centimes pour l'avis à remail au destinataire des fonds ;

4° Des frais accessoires de la taxe télégraphique afférents aux indications éventuelles qui intéressent soit la remise à domicile suivant le cas « poste recommandée » ou « poste restante recommandée » ou « exprès payé » soit les opérations accessoires aux risques (T.C.), (C.R.), (C.R. postal) ou (T.R.).

B — Dans le service international :

1° D'un droit fixe de 25 centimes par 25 francs ou fraction de 25 francs sur le montant du mandat comme pour les mandats de poste ordinaire ayant la même destination ;

2° De la taxe télégraphique dont sont passibles les

la somme déposée par 101, et on a soin d'augmenter le quotient de 1 centime (0,01) toutes les fois qu'il y a un reste et quel que soit ce reste. La somme ainsi obtenue est le droit de 1 % et la différence entre cette somme et la somme déposée donne la somme à payer au destinataire.

Exemples :

1° Somme déposée.....	50 fr. 00 cent.
101	
50,00	
960	9,49
51	1
	0,50

Droit à déduire.....	0 fr. 50
Différence portée sur le mandat pour être payée au destinataire.....	49 fr. 50 cent.

2° Somme déposée.....	22 fr. 50 cent.
101	
22,50	
230	0,22
26	1
	0,23

Droit à déduire.....	0 fr. 23
Différence à porter sur le mandat pour être payée au destinataire.....	22 fr. 27 cent.

Le droit postal peut seul être prélevé sur le montant de la somme déposée; l'intégralité de la taxe télégraphique doit être payée à part.

télégrammes ordinaires pour la même destination et avec le même nombre de mots ;

3° Des frais accessoires de la taxe télégraphique afférents aux indications éventuelles qui interviennent dans les opérations autorisées telles que (D), (T.C.), (X.P.), (C.R.).

La taxe des télégrammes **sémaphoriques**, c'est-à-dire à échanger avec les navires en mer par l'intermédiaire des sémaphores établis sur le littoral, est fixée, pour la transmission sémaphorique : dans le service intérieur, à 1 franc par dépêche de vingt mots avec augmentation de moitié par chaque série indivisible de dix mots au-dessus de vingt ; et, dans le service international, à 2 francs par télégramme. En d'autres termes, les taxes à percevoir pour le parcours maritime des télégrammes sémaphoriques sont de :

En France ..	{ Pour l'intérieur... 1 franc.
	{ Pour l'étranger... 2 —
De l'étranger pour la France.....	2 —

Ces taxes s'ajoutent au prix du parcours électrique et aux frais accessoires de remise à domicile, s'il y a lieu, calculés d'après les règles générales.

Les télégrammes sémaphoriques rédigés en langage secret, sont, bien entendu, soumis aux dispositions générales admises pour les télégrammes de même nature. Toutefois, la taxe du collationnement et de l'accusé de réception, obligatoire pour les télégrammes secrets dans le service intérieur, n'est perçue que pour le parcours terrestre. En effet, la taxe fixe de la transmission entre le sémaphore et le navire en mer s'applique de plein droit à un langage chiffré, attendu que le seul mode de correspondance possible entre ces deux points consiste en signaux du code commercial ou pavillons du télégraphe marin.

Pour les télégrammes **urgents**, admis seulement dans le régime international pour certains pays, la taxe est le triple de celle d'un télégramme simple de même longueur pour le même parcours.

La taxe d'un télégramme **collationné**, c'est-à-dire répété intégralement de bureau à bureau, est égale dans le service intérieur à la moitié, et dans le service international au quart de celle d'un télégramme ordinaire de même longueur pour le même parcours.

La taxe de l'**accusé de réception** est égale à celle d'un télégramme simple de dix mots par la même voie. Dans le service intérieur, l'accusé de réception peut être transmis par la poste sur la demande de l'expéditeur. Il est perçu les taxes suivantes : 1° la taxe du télégramme d'après le nombre de mots ; 2° 15 centimes, droit de poste pour affranchissement de la formule de retour.

La taxe des télégrammes **recommandés**, qui ne sont admis que dans le service intérieur, est celle du télégramme collationné, avec accusé de réception. Exemple : Un télégramme de trente et un mots, en langage convenu, de Paris pour Rennes, sera frappé des taxes ci-après :

Taxe principale.....	1,55 cent.
Collationnement.....	0,80 —
Accusé de réception.....	0,50 —
	<hr/> 2,85 cent.

Pour les télégrammes **avec réponse payée**, le droit d'affranchissement de la réponse est illimité dans le service intérieur ; il ne peut, dans le service international, excéder la taxe d'un télégramme ordinaire de trente mots pour le même parcours. Si l'expéditeur n'a pas indiqué le nombre de mots payés pour la

réponse, on considère celle-ci comme devant être limitée à dix mots, et la taxe est perçue en conséquence.

La taxe d'une réponse payée est établie au même taux, par mot, que la dépêche à laquelle elle se rapporte. Si cette dernière est un **télégramme intérieur**, la taxe de la réponse doit être établie d'après les règles du tarif intérieur, d'où il résulte que la taxe de la réponse payée à un télégramme intérieur ne peut être moindre : 1° de 50 centimes, lorsqu'il s'agit d'une dépêche échangée entre les divers bureaux de la France continentale et de la Corse, et, par assimilation, de la principauté de Monaco, ou entre les bureaux d'Algérie (ou de Tunisie) ; 2° de 1 franc, lorsqu'il s'agit d'une dépêche échangée entre l'Algérie (ou la Tunisie) et la France. La seule exception à cette règle est relative aux télégrammes ouverts circulant par tubes pneumatiques dans Paris. La dépêche ouverte étant taxée à raison de 30 centimes, la réponse peut être payée le même prix.

Lorsque le télégramme portant l'indication (réponse payée) ou (R.P.) est déposé dans un bureau-gare, où doit être adressé le télégramme affranchi, la taxe à percevoir doit comprendre, outre le montant de la réponse, les frais fixes d'express, à moins qu'il ne soit spécifié que la réponse payée sera adressée à télégraphe restant. *Exemple* : Un télégramme de vingt-trois mots avec (R.P.) simple, de Bague pour Montpellier, sera taxé comme suit :

Taxe principale.....	1,45 cent.
(R.P.) ..	{ Dix mots..... 0,50 —
	{ 1 kilomètre..... 0,50 —
TOTAL.....	<hr/> 2,45 cent.

Pour les télégrammes internationaux, si la dépêche à laquelle se rapporte la réponse payée a été taxée par la voie normale, la réponse est également taxée par la voie normale et pour le même parcours. Si, au contraire, l'expéditeur a désigné pour la dépêche une voie autre que la voie normale, on applique à la réponse le tarif prévu par la voie suivie par le télégramme primitif.

Le nombre minimum de mots pour lequel on peut percevoir le prix de cette réponse n'est pas déterminé par le règlement de Berlin. Toutefois, le télégramme, quelque réduit qu'il soit, devant avoir nécessairement deux mots au moins, on ne percevra pas de réponse de moins de deux mots. La limite supérieure du nombre de mots est fixée à trente, mais cette limite peut être dépassée lorsqu'un expéditeur ou un destinataire demande par dépêche à un bureau télégraphique la répétition intégrale d'un télégramme précédemment transmis. Dans ce cas, la réponse doit être payée pour le nombre exact de mots contenus dans la dépêche dont la répétition est demandée.

En l'absence de toute indication du nombre de mots, la réponse est perçue pour dix mots.

Si l'expéditeur veut affranchir une réponse urgente (toujours dans le service international, bien entendu), il est perçu la taxe d'un télégramme urgent de dix mots par la même voie. L'expéditeur peut, d'ailleurs, indiquer le nombre de mots payés pour la réponse, et acquitter la somme dans les limites que nous venons d'indiquer.

La taxe d'un télégramme à destination d'un *pays étranger*, avec réponse payée, devra être établie, dans tous les cas, suivant le nombre de mots du télégramme, par la voie indiquée ; et celle de la réponse, d'après le nombre des mots payés par la même voie, quelle que soit d'ailleurs la ville à laquelle l'expéditeur demande que la réponse soit adressée.

Ainsi, un télégramme de quinze mots, de Paris pour Bruxelles, avec réponse payée de trente mots pour Verviers, devra être taxé comme suit :

	fr. c.
Quinze mots de Paris à Bruxelles (valeur normale).....	2 25
Trente mots de la réponse de Bruxelles à Verviers (comme si la réponse devait être transmise à Paris).....	4 50
Taxe totale à percevoir.....	6 75

L'expéditeur d'un télégramme international peut demander que la réponse qu'il paye d'avance lui soit adressée dans une ville quelconque à l'étranger; ainsi, on peut envoyer un télégramme de Paris à Bâle avec une réponse payée d'avance que l'on se fait adresser de Bâle à Londres. Mais l'expéditeur ne peut affranchir d'avance le télégramme-réponse (jusqu'à concurrence de trente mots maximum) que pour un parcours et une voie identiques à ceux du télégramme-demande, le destinataire faisant d'ailleurs du bon de réponse tel usage qu'il lui plaît. D'où il suit que la réponse d'une taxe payée d'avance (à Paris) de Bâle pour Londres, doit être calculée non en raison de l'itinéraire Bâle-Londres, mais du parcours Bâle-Paris.

Il est à remarquer que, dans le cas où un télégramme serait expédié d'un bureau français à un bureau également français, avec réponse payée pour une ville étrangère, par exemple de Paris à Lyon, quinze mots avec réponse payée de vingt mots pour Genève, la taxe devrait être :

	fr. c.
Quinze mots de Paris à Lyon (taxe intérieure).....	0,75
Vingt mots de Lyon à Genève (taxe internationale).....	3,00
Taxe totale à percevoir.....	3,75

Les dispositions réglementaires relatives aux réponses payées sont appliquées intégralement par les offices faisant partie de l'Union télégraphique, toutefois les Indes britanniques ainsi que les Compagnies transatlantiques dont les câbles relient l'Europe à l'Amérique du Nord n'acceptent pas les réponses payées multiples et urgentes. En outre, le Sénégal ne rembourse dans aucun cas le bon de réponse non utilisé.

Le bon que le bureau d'arrivée est tenu de remettre au destinataire du télégramme portant l'indication (réponse payée) ou (RP) confère au titulaire la faculté d'expédier gratuitement, et dans les limites de taxe indiquées sur le bon, un télégramme à une destination quelconque, en France ou à l'étranger. Ce bon n'est valable que : 1^o pendant huit jours dans le service intérieur; 2^o pendant six semaines dans le service international; à partir du jour où il a été créé. Passé ce délai, il est considéré comme nul et non avenue, et la taxe perçue reste acquise à l'administration. Le bon ne peut servir qu'à l'affranchissement d'un seul télégramme : il ne pourrait être utilisé pour plusieurs dépêches, même si le total des taxes n'atteignait pas la somme versée au départ pour affranchir la réponse. *Plusieurs bons ne peuvent pas servir non plus à l'affranchissement d'un télégramme unique.*

Pour les télégrammes multiples, adressés dans une même localité à plusieurs destinataires ou à un même destinataire à plusieurs domiciles, avec ou sans réexpédition par la poste ou par exprès, la taxe est établie

comme pour un seul télégramme; mais il est perçu, à titre de droit de copie, autant de fois 50 centimes, par télégramme ne dépassant pas cent mots, qu'il y a de destinations, moins une. Au delà de cent mots, ce droit est augmenté de 50 centimes par série ou fraction de série de cent mots. Dans ce compte figure la totalité des mots du texte, de la signature et de l'adresse, la taxe pour chaque copie étant établie séparément.

Si l'adresse du télégramme multiple est conçue de la manière suivante : « Gaillard, voyageur, voit dans les principaux hôtels Castres », on perçoit à titre d'arrhes, en sus de la taxe principale, une somme d'au moins 5 francs correspondant à dix copies supplémentaires. On liquide ultérieurement cette perception d'arrhes, soit par un remboursement, soit par un complément de taxes.

Pour la taxe d'express, il est perçu, dans le service intérieur, une somme fixe de 50 centimes par kilomètre ou fraction de kilomètre. Cette taxe est calculée d'après la distance réelle qui se compte, pour les habitations agglomérées, du bureau d'arrivée au centre de l'agglomération, et, pour les habitations isolées, du bureau d'arrivée au lieu même de destination. Quand il y a lieu de percevoir une somme à titre d'arrhes, il appartient au bureau expéditeur d'apprécier, selon les circonstances, quelle doit être l'importance de ce dépôt.

La perception des frais fixes d'express correspondant à la distance kilométrique indiquée à la suite du nom d'un bureau-gare est obligatoire si le télégramme adressé à cette gare doit être mis à la poste et si les indications de l'adresse ne prescrivent pas de remettre ce télégramme au courrier-convoyeur ou de le jeter dans la boîte mobile, ce que ferait connaître la formule (*poste en gare*).

En Allemagne on emploie soit un messenger spécial, soit une estafette contre remboursement des frais effectifs. Le messenger spécial (express) est payé à raison de 15 pfennigs (environ 18 centimes), par kilomètre, avec minimum de perception de 75 pfennigs (90 centimes). L'estafette est payée à raison de 5 francs jusqu'à 5 kilomètres, avec augmentation de 2 fr. 50 par 5 kilomètres, ou fraction de 5 kilomètres en sus des premiers.

En Autriche, les taxes d'express sont d'environ 60 centimes par kilomètre, dans un rayon de 30 à 40 kilomètres; au delà de ce rayon, on peut employer aussi l'estafette contre le paiement des frais effectifs, qui sont d'environ 2 fr. 50 par myriamètre et par cheval.

En Belgique, l'express à pied coûte généralement 1 franc pour les 5 premiers kilomètres, avec addition de 20 centimes pour chaque kilomètre en plus. Pour les transports à faire de nuit ou qui sont particulièrement difficiles, ces prix peuvent être augmentés de 50 %. Sur la demande de l'expéditeur, ou pour les distances de plus de 45 kilomètres, on peut employer un messenger à cheval ou en voiture. Le prix du transport est alors réglé d'après la distance, l'heure du jour ou de la nuit, l'état des chemins, etc.

L'Office danois emploie l'express ou l'estafette. Le prix de l'express est d'environ 50 centimes par quart de mille (environ 1.800 mètres).

Dans la Grande-Bretagne, la remise à domicile est gratuite dans un rayon de 1 mille (1.609 mètres) autour du bureau d'arrivée, ou dans le rayon de la remise postale urbaine si le bureau d'arrivée est à un bureau principal et si la remise postale urbaine s'étend à plus de 1 mille de ce bureau. Au delà de ces limites, la remise à domicile par un express à pied est taxée à raison de 6 pence (50 centimes) par mille. Au delà de

3 milles les télégrammes sont remis par estafette à raison de 1 shilling (1 fr. 25) par mille.

En Hongrie, les taxes d'express et d'estafette postale sont calculées sur les mêmes bases qu'en Autriche.

En Italie, on emploie l'express, qui coûte environ 20 centimes par kilomètre. L'administration italienne admet également un service d'estafette pour tous télégrammes, mais sans le garantir, et elle recourt à l'express toutes les fois qu'on ne trouve pas d'estafette. La remise des télégrammes par express a également lieu s'ils sont adressés aux faubourgs ou aux maisons isolées hors de la ville, mais sur le territoire urbain, lors même que ces télégrammes ne portent pas la mention *express*.

Dans le Luxembourg, les frais d'express sont calculés comme suit :

0 fr. 50 cent. jusqu'à 1.500 mètres de distance;

0 fr. 75 cent. pour une distance de 1.500 à 3.000 mètres.

4 francs pour une distance de 3 à 5 kilomètres, et 20 centimes pour chaque kilomètre ou fraction de 1 kilomètre au delà de 5 kilomètres.

Ces taxes sont doublées pour les télégrammes qui arrivent au bureau de destination après 5 heures du soir du 1^{er} novembre au 31 mars et après 8 heures du soir du 1^{er} avril au 31 octobre.

En Norvège, on peut employer l'express jusqu'à une distance de 55 kilomètres, moyennant une taxe de 40 centimes par kilomètre.

L'Office néerlandais emploie l'express ou l'estafette contre recouvrement des frais effectifs de transport, qu'il faut calculer sur la base de 50 centimes par kilomètre pour l'un et l'autre de ces modes d'envoi.

L'administration portugaise a un service d'express dont le prix est fixé chaque année suivant la moyenne des dépenses du même service pendant l'exercice précédent.

La Russie n'emploie que des estafettes dont le prix est calculé sur la base de 32 centimes environ par kilomètre, avec taxe fixe additionnelle de 28 centimes par télégramme.

En Serbie, on emploie des messagers spéciaux ou des estafettes, contre remboursement des frais effectifs de transport.

En Suède, on emploie l'express ou l'estafette. Les frais de transport sont fixés ainsi qu'il suit : par express (messager à pied) : 28 centimes par kilomètre; par estafette (messager à cheval) : 56 centimes par kilomètre. L'express à pied n'est employé que dans les limites d'une distance maximum de 15 kilomètres. Au delà, il n'est fait usage que du messager à cheval.

En Suisse, la distribution est gratuite dans un rayon de 4 kilomètre du bureau. Au delà de 4 kilomètre, la taxe de l'express est de 25 centimes pour chacun des deux premiers kilomètres et 30 centimes pour chaque kilomètre en sus, jusqu'à 10 kilomètres; l'envoi peut avoir lieu par estafette, contre remboursement des frais effectifs du transport.

La Bulgarie, l'Espagne, la Grèce, le Monténégro, la Roumanie et la Turquie n'ont organisé aucun service d'express ou d'estafette.

Dans le régime extra-européen, l'administration française, en Cochinchine, assure la remise des télégrammes par express, dans les limites du territoire de la colonie, à raison de 50 centimes par kilomètre, lorsque le trajet a lieu sur terre, et de 1 franc par kilomètre, lorsqu'il a lieu par eau. Mais on ne peut bénéficier de cette disposition qu'autant que les distances à parcourir ne dépassent pas 45 kilomètres.

La Russie d'Asie est desservie par estafette dans les mêmes conditions que la Russie d'Europe.

Les télégrammes pour la Chine peuvent être expédiés de Kiatcha (Russie d'Asie, 1^{re} région), soit par poste les 5, 12, 19 et 26 de chaque mois, soit par estafette. Les frais de poste à percevoir sur l'expéditeur sont de 2 fr. 20 par télégramme pour tous les bureaux de poste non desservis par le télégraphe. Les frais d'estafette à percevoir sur l'expéditeur d'un télégramme à destination de Pékín et de Tien-Tsin sont de 392 francs pour un cheval, et de 588 francs pour deux chevaux. Un service d'express a été établi en Corée pour le transport des télégrammes entre Fusan, d'une part, et, d'autre part, le port de Givsey et Kijong, capitale de la Corée. Le prix de ce transport est fixé à 30 francs par télégramme à percevoir sur l'expéditeur.

Au Siam, la remise est gratuite dans un rayon de 5 milles autour des bureaux télégraphiques; au delà de cette distance et dans une limite de 5 autres milles la remise est faite par express à raison de 50 centimes par mille.

La Compagnie Méditerranéenne extension, qui dessert l'île de Malte par le câble de Modica (Italie), emploie des messagers à pied ou de messagers rapides. Les express à pied coûtent 60 centimes jusqu'à 2.400 mètres; 1 fr. 25 jusqu'à 4 kilomètres; 2 fr. 50 jusqu'à 7.200 mètres; 5 francs jusqu'à 13.600 mètres. Le prix des express rapides est le double de celui des messagers à pied.

Dans les Indes néerlandaises, il existe un service d'express et d'estafettes pour le transport des télégrammes à destination des localités non desservies par le télégraphe. Les prix de ce transport sont perçus d'après un tableau de taxes d'express calculées pour les localités avoisinant chacune des bureaux.

L'Office australien (du Sud) fait remettre les télégrammes gratuitement dans un rayon d'un demi-mille. Au delà de ce rayon, la remise peut être faite par une estafette (messager à cheval) à raison de 2 fr. 50 par mille (1.609 mètres) tant à l'aller qu'au retour.

Enfin, l'Office indo-européen du gouvernement britannique transporte, à partir de Jask (Belouchistan) : 1^o les télégrammes à destination de Bassidore, Bunder-Abbas ou Lingah, moyennant une taxe fixe d'express de 40 francs pour Bunder-Abbas et de 60 francs pour Lingah et Bassidore; 2^o les télégrammes à destination de Mascate, moyennant une taxe fixe d'express de 90 francs.

Aucun service d'express n'a été organisé par les Offices des Indes britanniques, des colonies anglaises du Cap et de Natal, et par l'administration japonaise.

Pour la liquidation des arrhes qui n'ont pu être déposées dans certains cas, le bureau d'origine, s'il y a lieu soit à recouvrement d'un complément de taxe, soit à remboursement d'un excédent d'arrhes, convoque par lettre imprimée l'expéditeur au bureau télégraphique, à moins toutefois que cet expéditeur n'ait demandé qu'il soit pourvu au règlement de compte par un bureau autre que le bureau d'origine.

Lorsque l'expéditeur désire que la liquidation s'opère dans un plus bref délai, il peut obtenir, en payant une réponse de dix mots, que les renseignements sur la distance parcourue par l'express soient transmis par le télégraphe. Le receveur taxe le télégramme comme à l'ordinaire; il perçoit en sus une somme fixe de 50 centimes pour affranchissement de l'avis de service de retour et fait déposer une troisième somme à titre d'arrhes. L'expéditeur est avisé par écrit dès la réception de cet avis de service.

Pour les télégrammes par poste d'avis de service, sur la demande de l'expéditeur, être acheminés sur le lieu de destination par voie postale, à partir du bu-

reau d'arrivée, il n'y a de taxe postale à percevoir que dans les quatre cas suivants :

(a) Le télégramme doit être envoyé par *lettre recommandée* : on perçoit la taxe de la recommandation postale.

(b) Le bureau d'arrivée est une gare et le télégramme doit être jeté à la boîte du bureau de poste de la localité desservie par expresse par cette gare; les frais fixes doivent être perçus à moins que l'expédition ne fasse suivre la mention *poste des mots en gare*. Si le télégramme porte l'indication *poste recommandée*, la perception des frais fixes d'express et de la recommandation postale est obligatoire.

(c) Les télégrammes intérieurs, c'est-à-dire ceux qui circulent exclusivement sur le réseau télégraphique français, s'ils sont adressés à un bureau télégraphique frontière, pour être expédiés de là par la poste dans un pays étranger, donnent lieu à la perception, au départ, de la *taxe intégrale* d'une lettre recommandée conformément au tarif postal correspondant.

(d) Les télégrammes *internationaux*, c'est-à-dire ceux qui empruntent partiellement le réseau télégraphique étranger, sont soumis aux taxes suivantes, que doit percevoir le bureau d'origine :

		n. c.
FRANCE.....	Pour toutes les destinations. 1 »	
	Pour toutes les destinations appartenant à l'Union postale..... 50	
ALLEMAGNE.....	Pour les autres destinations. 1 »	
AUTRICHE.....	A partir de Trieste pour toutes les destinations. 1 »	
HONGRIE.....	A partir de Flume et des autres bureaux du littoral hongrois pour toutes les destinations..... 1 »	
BELGIQUE.....	Pour toutes les destinations. 1 »	
	Pour les Iles Canaries, les possessions espagnoles d'outre-mer, la côte septentrionale d'Afrique et la côte du Maroc..... 15	
ESPAGNE.....	Pour toutes les autres destinations..... 1 »	
GR ^e -BRETAGNE.....	Pour toutes les destinations. 1 »	
GIBALTAR.....	Pour les correspondances à destination de Tanger et du Maroc..... 10	
GRÈCE.....	Pour toutes les destinations. 50	
	1 ^o Pour les Iles Italiennes sans communication télégraphique, aucune taxe postale. Pour Assab, La Goulette, Massouah, Souza, Tunis et Tripoli d'Afrique aucune surtaxe;	
ITALIE.....	2 ^o Pour la Corse (a) en cas d'interruption des lignes télégraphiques, aucune taxe postale, (b) au cas de non interruption des lignes... 4 »	
	3 ^o Pour les autres pays... 4 »	
MALTE.....	Pour toutes les destinations. 2 »	
PORTUGAL.....	Pour toutes les destinations. 4 »	
SÉNÉGAL.....	Affranchissement simple de... 20	
TURQUIE.....	Pour toutes les destinations. 2 »	
	Pour les Offices extra-européens :	
A partir des Indes néerlandaises et des Iles Madère et Saint-Vincent, pour toutes les destinations..... 4 »		

D'Amérique, pour toutes les destinations..... 1 23
D'Aden, d'Australie, d'Égypte, des Indes anglaises ou Birmanie, de Malacca, de Penang, du golfe Persique et de Singapore, pour toutes les destinations..... 2 »
D'Amoy pour Foochow..... 2 »
Du Japon pour toutes les destinations..... 4 »

La Suède, la Norvège, le Danemark, les Pays-Bas, la Bulgarie, la Roumanie et la Russie, bien que continuant à la mer, n'ont indiqué aucune taxe applicable aux correspondances destinées à traverser la mer.

Pour les télégrammes spéciaux divers, on comprend toujours dans le nombre de mots taxés les indications éventuelles que l'expéditeur croit devoir inscrire avant l'adresse, telles que « télégramme restant », « télégramme personnel », « poste en gare », « avec reçu », « personnelle », etc.

En ce qui concerne plus particulièrement les télégrammes « avec reçu », trois cas peuvent se présenter.

a — L'expéditeur se borne à réclamer le récépissé de dépôt; il doit alors verser la taxe fixe supplémentaire de 10 centimes.

b — L'expéditeur demande que son télégramme soit remis à destination contre un reçu signé par le destinataire : il doit inscrire avant l'adresse l'indication éventuelle « avec reçu ». Cette manière de procéder n'est admise que dans le service intérieur.

c — L'expéditeur non seulement demande un récépissé de dépôt, mais veut encore qu'à l'arrivée son télégramme soit remis contre reçu signé par le destinataire; l'expéditeur est tenu à la fois de verser la taxe spéciale de 10 centimes et d'insérer avant l'adresse l'indication éventuelle « avec reçu ». Cette manière de procéder n'est admise que dans le service intérieur.

Lorsque l'expéditeur inscrit avant l'adresse l'indication éventuelle « personnel » ou toute autre équivalente, comme la remise à destination ne peut alors être affectée que contre reçu signé par le destinataire lui-même, l'expéditeur est tenu d'inscrire en outre, avant l'adresse, l'indication éventuelle « avec reçu » qui est comprise obligatoirement dans le nombre des mots taxés.

Pour tout *duplicata* de télégramme délivré soit à l'expéditeur soit au destinataire, il est perçu un droit fixe de 50 centimes par télégramme ne dépassant pas cent mots : au delà de cent mots, ce droit est augmenté de 50 centimes par série ou fraction de série de cent mots.

L'expéditeur et le destinataire d'un télégramme ou leurs fondés de pouvoir ont le droit de se faire délivrer des copies certifiées conformes de l'original de ce télégramme ou de la copie d'arrivée, si cette copie a été conservée par l'Office de destination. Ce droit expire après le délai fixé pour la conservation des archives (six mois pour les télégrammes intérieurs et européens, dix-huit mois pour les télégrammes extra-européens). Le droit de copie est de 50 centimes par série ou fraction de série de cent mots.

Perception des taxes. — Dans tous les régimes, la perception des taxes s'effectue au départ, c'est-à-dire au moment du dépôt du télégramme, sauf les exceptions prévues pour les télégrammes à faire suivre, pour les télégrammes sémaphoriques, pour l'excédent de taxe des réponses payées (service intérieur français) dans le cas indiqué plus loin, et enfin pour les télégrammes avec express, si l'envoi de l'express a été demandé par le destinataire, et lorsqu'il s'agit d'une dépêche internationale avec express dont l'expéditeur n'a pas payé l'accusé de réception.

On doit toutefois percevoir à l'arrivée, d'après le tarif applicable, les compléments de taxe qui peuvent être dus par suite de réunion de noms appartenant à des personnes différentes ou de mots contraires à l'usage de la langue française. Le télégramme qui donne lieu à la perception d'un complément de taxe ne doit, en ce cas, être remis au destinataire qu'après versement de cette taxe.

Toutefois, dans les cas même où le règlement autorise la perception à l'arrivée, si le destinataire refuse d'acquiescer les taxes à percevoir, celles-ci doivent être recouvrées sur l'Expéditeur et elles font alors l'objet d'un complément de taxe.

La totalité des taxes des télégrammes sémaphoriques est perçue sur l'Expéditeur pour les télégrammes adressés aux navires en mer, et sur le destinataire pour les télégrammes provenant des bâtiments.

Dans le service intérieur, les télégrammes sémaphoriques émanant d'un bâtiment en mer peuvent être expédiés par le poste, aux conditions des télégrammes ordinaires. Dans ce cas, le montant de la taxe à percevoir sur le destinataire est recouvré par les soins du receveur du bureau de poste d'arrivée.

Dans le cas de perception sur le destinataire, le préambule doit contenir l'indication : « taxe à percevoir ... francs ... centimes ».

La taxe à percevoir au départ pour les télégrammes à faire suivre est simplement la taxe afférente au premier parcours. L'adresse complète entrant dans le nombre des mots. La taxe complémentaire est perçue sur le destinataire par le bureau d'arrivée qui effectue la remise du télégramme.

Les bords de réponse payée sont acceptés dans tous les bureaux de France pour l'affranchissement, par le titulaire, d'un télégramme adressé à une personne et à une destination quelconque, en France ou à l'étranger. Si la taxe à acquiescer pour le télégramme « réponse » est égale à la valeur du bon, l'opération est simple ; si le bon est présenté pour l'acquiescement d'une taxe inférieure à sa valeur, l'Expéditeur doit être prévenu qu'il n'a aucun droit au remboursement de la différence (cette observation faite, le bon est accepté pour l'affranchissement du télégramme déposé si l'Expéditeur persiste à le donner en paiement) ; si la taxe exigible est supérieure, le bon peut être pris comme acompte à la condition que le complément de taxe soit immédiatement versé en numéraire. (Il n'est fait d'exception à cette règle que dans le service intérieur, sur la demande expresse de l'Expéditeur, lorsque la réponse payée est à proprement parler une Réponse. C'est-à-dire lorsqu'elle est adressée à l'Expéditeur même du télégramme primitif. L'excédent peut alors être versé soit au départ, soit à l'arrivée, au choix de la personne qui répond, mais cette dernière doit, lorsqu'elle ne paye pas l'excédent au départ, inscrire de sa main, sur la minute du télégramme et immédiatement avant l'adresse, l'indication « Complément à percevoir X mots. » Cette indication est comprise dans le nombre des mots taxés.)

L'Expéditeur qui demande que son télégramme soit envoyé par exprès au domicile du destinataire, par les soins du bureau d'arrivée, est tenu, dans le service intérieur, de payer d'avance les frais de transport au-delà du bureau télégraphique d'arrivée ; dans le service international, l'Expéditeur peut demander que les frais d'express soient perçus sur le destinataire ; en Russie, les frais d'express sont toujours perçus sur le destinataire. Il en est de même pour l'Amérique, où les trois compagnies se chargent du transport par exprès à raison de 15 fr. 65 pour chaque parcours de 8 kilomètres, ou fraction de ce parcours.

Les taxes perçues en moins par erreur et les taxes et frais non perçus sur le destinataire, par suite de refus ou de l'impossibilité de le trouver, doivent être complétés par l'Expéditeur.

Remboursement. — Toute réclamation ou remboursement de taxe doit être formé, sous peine de déchéance, dans les deux mois de la perception. Ce délai est porté à six mois pour les télégrammes extra-européens. Toutefois, ce délai n'est que de huit jours dans le service intérieur, et de quarante-deux jours dans le service international, si le détenteur d'un bon de réponse payée demande, au profit de l'Expéditeur, le remboursement de la valeur de ce bon non utilisé par le titulaire dans les délais rappelés ci-dessus.

Pour la liquidation des arrhes d'express, il n'est pas stipulé de délai de prescription.

Lorsqu'une réclamation a été reconnue fondée par les administrations intéressées, le remboursement est effectué par l'Office d'origine. L'Expéditeur qui ne réside pas dans le pays où il a déposé un télégramme peut faire présenter sa réclamation à l'Office d'origine par l'intermédiaire d'un autre Office qui est alors, s'il y a lieu, chargé d'effectuer le remboursement.

Sont remboursées de droit à l'Expéditeur qui en fait la demande, mais en vertu d'une autorisation spéciale de l'administration centrale, les taxes suivantes : 1° la taxe intégrale d'un télégramme-mandat qui, adressé à un bureau non ouvert au service des mandats télégraphiques, n'a pas pu remplir son objet et est resté impayé ; 2° la taxe intégrale de tout télégramme international qui a éprouvé un retard notable ou qui n'est pas parvenu à destination par le fait du service télégraphique (en cas de retard, le droit au remboursement est absolu, pour les correspondances internationales, lorsque le télégramme n'est point arrivé à destination plus tôt qu'il n'y serait parvenu par la poste ou lorsque le retard dépasse deux fois vingt-quatre heures pour un télégramme européen et six fois vingt-quatre heures pour un télégramme sortant des limites de l'Europe) ; 3° la taxe intégrale de tout télégramme collationné (dans le service international), de tout télégramme collationné ou recommandé (dans le service intérieur), qui, par suite d'erreurs de transmission, n'a pu manifestement remplir son objet, qui n'est point arrivé à destination plus tôt qu'il n'y serait parvenu par la poste, ou qui n'est pas parvenu du tout à destination par le fait du service télégraphique ; 4° dans le régime extra-européen, la taxe de tout mot omis dans la transmission d'un télégramme ordinaire par le fait du service télégraphique (cette disposition toutefois n'est pas applicable lorsque le destinataire s'est aperçu de l'omission et la fait rectifier) ; 5° la somme versée pour la réponse d'un télégramme soumis aux règles du service intérieur ou du régime extra-européen est remboursable à l'Expéditeur lorsque le destinataire n'a pas fait usage du droit de répondre en franchise (cette somme n'est jamais remboursée dans la correspondance du régime européen). A cet effet, le destinataire doit, dans le service intérieur avant l'expiration du délai de huit jours, et dans le régime extra-européen dans le délai de six semaines à partir de la date d'émission, déposer le bon au bureau qui l'a délivré, en l'accompagnant d'une demande de remboursement au profit de l'Expéditeur. La demande de remboursement peut d'ailleurs être déposée dans un bureau autre que celui où le bon a été émis ; 6° les arrhes déposées en vue du transport d'un télégramme par express, dans le cas où il n'a pas été fait emploi, en totalité ou en partie, des sommes perçues, si la liquidation doit en être

effectuée par un bureau autre que le bureau d'origine, ou si la liquidation a été précédée d'une enquête administrative; 7° en cas de perte d'un télégramme, collationné ou non, les taxes accessoires non utilisées telles que : arrihes déposées pour exprès, poste, réponse payée, accusé de réception, etc., lorsque cette perte de télégramme est imputable au service télégraphique; 8° en cas d'interruption d'une ligne sous-marine, l'expéditeur a droit au remboursement de la partie de la taxe afférente au parcours télégraphique non effectué, déduction faite des frais déboursés, le cas échéant, pour remplacer la voie télégraphique par un mode de transport quelconque. (Ces dispositions ne sont pas applicables aux télégrammes empruntant les lignes d'un Office non adhérent qui refuserait de se soumettre à l'obligation du remboursement.)

Sont remboursées d'office par les comptables, mais exclusivement dans les bureaux qui ont encaissé les taxes et sans qu'il soit nécessaire de recourir au préalable à l'intervention de l'administration centrale : 1° partie ou totalité des arrihes perçues pour frais d'exprès et remboursables au bureau qui les a encaissés; 2° la taxe intégrale ou partielle des télégrammes arrêtés par l'autorité administrative; 3° la taxe principale et les taxes accessoires, sous déduction d'un droit fixe de 50 centimes, d'un télégramme retiré ou annulé avant que la transmission en ait été commencée (si le télégramme a été transmis et que l'expéditeur en demande l'annulation par un télégramme privé et taxé avec réponse payée, le bureau d'origine, dès qu'il a reçu la réponse annonçant l'annulation effectuée, rembourse à l'expéditeur les taxes du télégramme primitif et du télégramme d'annulation, en raison du parcours non effectué); 4° les taxes indûment perçues par le comptable par suite d'erreurs de taxation.

TAXE TÉLÉPHONIQUE. — Coût d'une conversation téléphonique établi d'après les RÈGLEMENTS en vigueur.

Les taxes téléphoniques sont très diverses. Trois systèmes ont été mis en pratique : 1° Les intéressés d'une ville qui désirent posséder un réseau téléphonique se constituent en société coopérative, construisent, entretiennent et exploitent le réseau à leurs frais. Il existe des exemples de pareils réseaux dans certaines petites villes de Suède. Les frais résultant pour chaque abonné sont relativement faibles quant à présent, mais la répartition des dépenses entre les intéressés présente quelques difficultés surtout quand de nouveaux abonnés viennent s'ajouter à un réseau existant. 2° Certaines administrations télégraphiques font payer à l'abonné les frais de première installation de sa ligne et de son appareil, et une contribution annuelle pour l'entretien et le service de la station centrale. Ce système de taxation, avantageux pour l'administration, est peu en faveur auprès des abonnés. 3° Le système le plus répandu, c'est l'abonnement pur et simple. L'abonné paye seulement une somme annuelle. Ce système favorise l'extension des réseaux, il est de beaucoup préférable aux deux premiers.

Quant au taux de l'abonnement annuel, il varie beaucoup. Il existe une tendance aux taxes élevées, car on ne connaît pas encore la durée des réseaux téléphoniques qui, en général, sont construits dans des conditions peu favorables si on les compare aux réseaux télégraphiques. Les appareils placés chez les abonnés et l'installation des stations centrales elles-mêmes sont exposés à une usure rapide, et enfin on apporte continuellement des modifications aux appareils, les téléphones n'étant pas arrivés encore

à l'état de types à peu près invariables, comme c'est le cas pour les appareils télégraphiques, il sera donc difficile d'abaisser maintenant les taxes à un chiffre normal.

On s'est aussi demandé s'il faut établir les mêmes taxes pour les grands réseaux et les petits. M. Rothen directeur adjoint des télégraphes suisses, pense qu'il y a l'extension des avantages procurés aux abonnés (l'augmentation des frais d'exploitation pour les grands réseaux militent en faveur d'une taxe plus élevée pour ces derniers).

Cependant les systèmes actuels de taxation sont en fait de deux grands défauts : ils sont trop chers et trop compliqués. Pour y remédier, M. Rothen pense qu'il faudrait graduer les taxes suivant la valeur du téléphone représenté pour l'abonné.

On a essayé différentes méthodes de gradation de taxes : les deux suivantes se basent sur le principe consistant à fixer l'abonnement suivant l'usage qui est fait de l'abonné : 1° on établit de 2 à 4 taxes différentes et on comprend arbitrairement les abonnés dans l'une ou l'autre de ces catégories; 2° on taxe chaque conversation. Le premier système n'est pratiqué que par certaines compagnies privées; le deuxième est le meilleur de tous suivant M. Rothen. Il est d'avis que la totalité de l'abonnement doit se composer d'une taxe fondamentale fixe (par exemple de 50 francs par an) et d'une taxe pour chaque conversation (par exemple de 5 centimes) à prélever sur celui des abonnés qui demande la communication. Ce système de taxation a été introduit à Buffalo et à Milwaukee; la taxe fondamentale est de 250 francs. A ce prix, l'abonné peut avoir 500 communications libres par année, chaque centaine ou fraction de centaine au delà des 500 communications paye 30 francs. On pourrait objecter à ce système sa trop grande complication. Mais on peut obtenir un enregistrement automatique des conversations. Un compteur de ce genre a été inventé par M. Gerosa, directeur du réseau téléphonique de Milan, et par M. Preiswerk, mécanicien à Bâle. Il existe même une invention américaine qui encaisse la taxe automatiquement. (Voir notes téléphoniques.)

Tout ce qui précède a trait aux taxes pour communications urbaines. En ce qui concerne les communications interurbaines, il faut d'abord se rendre compte de la façon dont s'opèrent ces communications. 1° On peut réunir plusieurs fils directs et passer par différentes stations centrales, et, s'il y a par exemple trois stations centrales dans le parcours du fil qui réunit les deux interlocuteurs, celui qui appelle doit répéter trois fois sa demande, c'est-à-dire chaque fois que la station centrale appelée par l'abonné l'a mis en communication avec la station centrale suivante. Ce système, actuellement en usage en Suisse, présente plusieurs inconvénients sérieux et entraîne notamment des pertes de temps considérables. 2° On peut établir partout des fils directs. Pour n centres téléphoniques il faudrait $\frac{n(n-1)}{2}$ fils directs. Pour 30 centres téléphoniques à combiner entre eux, il faudrait 435 fils directs, ce qui est impossible en pratique.

M. Rothen croit que, pour la téléphonie interurbaine, il faut choisir un système mixte, participant des deux systèmes susmentionnés; qu'il faut réunir les grands centres téléphoniques par des fils directs suivant le deuxième système, et desservir les petits centres par le premier système. Mais on arrive toujours à constituer un réseau interurbain très coûteux et d'une exploitation également fort onéreuse, ce qui nécessite l'établissement de taxes élevées.

En Allemagne on avait eu d'abord l'idée de charger l'abonné annuel d'un supplément qui donnerait à l'usager libre de la communication interurbaine ; mais on a reconnu que ce système présentait de nombreux inconvénients. La taxation par conversation est le système qui est adopté presque partout : en Belgique on paye 1 franc pour cinq et 1 fr. 50 pour dix minutes pendant le jour, et respectivement 2 et 3 francs pendant la nuit ; en France, le tarif est de 1 franc pour cinq minutes ; en Allemagne, de 82 1/2 centimes à 1 fr. 25, suivant les distances, par cinq minutes ; aux États-Unis, de 1 fr. 25 à 2 fr. 50 par cinq minutes ; en Suisse, 0 fr. 20 par cinq minutes (celle dernière taxe est insuffisante). En ce qui concerne les grands pays, il est présumable qu'on se décidera, au moins pour une certaine période, à établir des taxes échelonnées suivant les distances à parcourir.

Cette idée a reçu un commencement d'application en France ; ainsi, la taxe d'une conversation téléphonique de cinq minutes est de 1 fr. 50 entre Lyon et Marseille ; 2 francs entre Paris et Lyon ; et 3 francs entre Paris et Marseille.

Legislation, décrets et ordonnances.

— La Belgique a été la première à posséder une loi complète sur la téléphonie (celle loi date du 11 janvier 1883. V. le *Journal télégraphique de Berne*, t. VII, p. 114). Dans les autres pays on s'est contenté d'ordonnances ou de décrets. Toutes ces prescriptions, quelle que soit la forme qu'on leur ait donnée, ont pour double but de réserver à l'Etat ses prérogatives et de garantir le public contre une exploitation exagérée de la part des compagnies. Elles fixent :

1° L'impôt à payer à l'Etat, qui varie suivant les pays et qui est tantôt un tant pour cent des recettes brutes, tantôt un droit fixe annuel par poste posé et par station publique ;

2° La durée des concessions (Italie, 3 ans ; France, 5 ans ; Belgique 25 ans) ;

3° Les conditions de suspension, de révocation, de récession et de rachat ;

4° Les mesures ayant pour but de protéger la télégraphie contre les empiétements de la téléphonie ;

5° La taxation. — En Italie le maximum des tarifs est fixé par le gouvernement ; en Belgique ce maximum est fixé par les adjudications des réseaux ; en France les taxes sont établies par le gouvernement ; dans certaines régions de l'Amérique on fixe un maximum de taxe mensuelle et dans d'autres pays un maximum de taxe annuelle suivant l'usage qu'on fait du téléphone.

La conférence télégraphique de Berlin (août 1882) a admis en principe la téléphonie internationale et a stipulé que les communications internationales ne pouvaient être établies qu'entre les stations centrales des deux pays. La période de cinq minutes a été adoptée comme durée maximum d'une conversation et l'emploi du téléphone a été réglé d'après l'ordre des demandes.

Différents Etats ont réglé aussi la transmission et la réception des télégrammes par téléphone.

Il est intéressant de voir aussi comment dans les différents pays on a envisagé et réglementé l'usage des téléphones des abonnés par des personnes non abonnées. En Espagne, les stations d'abonnés sont chargées de taxes proportionnées à la fréquence probable de cette utilisation. En France, la permission pour les cercles, établissements publics, etc., de prêter le téléphone à leur clientèle, doit être achetée par un abonnement double dont la moitié tombe dans la

caisse de l'Etat. Aux abonnés ordinaires toute utilisation par des tiers est expressément interdite. Exception est faite seulement pour les commis et employés de la maison et pour les membres de la famille de l'abonné. Les abonnés sont exposés à de sévères poursuites s'ils ne se conforment pas à cette prescription. En Russie, le même principe prévaut, mais l'augmentation de prix est frisée dans chaque cas spécial. En Italie et en Belgique, au contraire, l'abonné est autorisé à laisser parler par son téléphone qui que ce soit, sans que la compagnie puisse, en raison de l'augmentation de l'usage du téléphone, charger l'abonné d'aucune taxe supplémentaire.

Une question importante, c'est le droit d'établir des lignes. Un seul Etat (la France) possède actuellement une loi qui donne le droit de construire des lignes télégraphiques et téléphoniques. En voici les dispositions : « L'Etat a le droit d'exécuter sur le sol ou sous le sol des chemins publics et de leurs dépendances tous travaux nécessaires à la construction et à l'entretien des lignes télégraphiques ou téléphoniques. L'établissement des fils dans les égouts appartient aux communes et ne peut avoir lieu que moyennant une redevance dont le taux est déterminé par un décret spécial. L'Etat a le droit d'établir des supports à l'extérieur des murs et façades donnant sur la voie publique et sur les toits et terrasses des bâtiments, à la condition qu'on y puisse accéder par l'extérieur. Il a aussi le droit d'établir des conduits ou supports sur le sol des propriétés non bâties qui ne sont pas fermées de murs ou autre clôture équivalente. Il n'est dû au propriétaire d'autre indemnité que celle du préjudice résultant des travaux de construction de la ligne ou de son entretien. Cette indemnité, à défaut d'arrangement à l'amiable, est réglée par le conseil de préfecture, sans recours au Conseil d'Etat. »

Les décrets et règlements rendus pour le même objet dans quelques autres pays présentent certaines lacunes.

M. Holthorn fait observer avec juste raison que le droit d'établir des lignes au-dessus des maisons et propriétés privées constitue pour la téléphonie une question vitale, que son développement ultérieur en dépend et qu'une solution s'impose à cet égard.

Pour ce qui concerne Paris, les renseignements ci-après sont extraits des documents publiés par la Société générale des Téléphones.

Dans l'enceinte des fortifications, le tarif des abonnements est de :

Pour 1 ligne, 600 francs par an.

Pour 2 lignes, 550 francs par an et par ligne.

Pour 3 lignes et au-dessus, 500 francs par an, par ligne, avec un minimum d'engagement de deux ans.

Pour les lignes prolongées au delà des fortifications, le tarif est le même que pour Paris ; mais, en sus du prix de l'abonnement, l'abonné a sa charge : 1° les frais, une fois payés, de construction de la ligne, à partir des fortifications jusqu'à son domicile ; 2° les frais annuels d'entretien de la ligne et de redevance kilométrique à l'Etat.

Si 2, 3 ou 4 abonnés au plus, habitant le même immeuble, sont branchés sur la même ligne, la Société consent des abattements réduits ; mais elle exige un abonné principal, au tarif ordinaire, responsable du montant total des abonnements. L'abonné principal a à payer 600 francs, et chacun des autres abonnés branchés 200 francs, ce qui donne :

Pour 2 abonnements, dont 1 principal, 800 francs.

Pour 3 abonnements, dont 1 principal, 1.000 francs.

Pour 4 abonnements, dont 1 principal, 1.200 francs.

Dés appareils et postes supplémentaires, reliés aux postes d'abonnement, peuvent être installés par voie d'abonnement dont le prix est fixé, par an, y compris l'entretien par la Société :

Pour un poste simple, comprenant un transmetteur, deux récepteurs, une sonnerie.....	70 fr.
Pour un tableau de poste central à plusieurs directions, par direction.....	15 »
Pour une sonnerie supplémentaire.....	10 »
Pour un relais commandant plusieurs sonneries.....	10 »
Pour un commutateur à manette, simple.....	3 50
Pour un commutateur à 2 manettes, 2 directions.....	6 »

Les frais de premier établissement relatifs aux câbles, fils, isolateurs, à la main-d'œuvre, etc., sont à la charge de l'abonné, qui reste responsable du prix des appareils en cas d'incendie ou de toute autre cause de destruction. Tous les postes supplémentaires appartenant à un même abonné, établis dans les conditions ci-dessus et situés dans un même immeuble, sont mis, sans autre redevance, en communication avec tous les abonnés du réseau.

Deux abonnés reliés au même bureau, et ayant des communications fréquentes entre eux et plus rares avec les autres abonnés, peuvent demander l'installation d'un *appel direct*, qui coûte 50 francs par an, y compris l'entretien par la Société. Pour l'installation de l'appel direct entre deux abonnés qui sont reliés à deux bureaux différents, il y a à payer, en plus de cet abonnement de 50 francs, la location d'une ligne auxiliaire entre les deux bureaux à raison de 175 francs par kilomètre ; et il est expressément entendu que la Société se réserve la faculté de ne consentir la location des lignes auxiliaires d'appel direct qu'autant que les disponibilités du réseau le permettent.

Moyennant un abonnement supplémentaire fixé, par arrêté ministériel, à 50 francs par an, les abonnés au service téléphonique de Paris peuvent, à toute heure de jour ou de nuit, téléphoner leurs dépêches rue de Grenelle, au bureau central des Télégraphes et en recevoir communication à domicile par la même voie ; les dépêches en langues étrangères ne peuvent être transmises par téléphone. Cet abonnement donne en même temps le droit d'usage du service des communications interurbaines, c'est-à-dire, de communiquer avec tous les réseaux téléphoniques reliés ou à relier à celui de Paris.

Dans un certain nombre de bureaux de l'Administration des Postes et Télégraphes et de bureaux de la Société générale des Téléphones sont établies des cabines téléphoniques publiques dans lesquelles toute personne non abonnée peut correspondre moyennant une taxe de 50 centimes pour cinq minutes de conversation. Quant aux abonnés, ils ne sont pas traités de même pour le droit d'usage par l'une ou par l'autre administration : dans les cabines de la Société des Téléphones, les conversations sont absolument gratuites pour tous les abonnés de Paris munis d'une carte de communication qui leur est délivrée par la Société. Tout abonné a droit à autant de cartes qu'il a d'abonnements. Tous les bureaux des Postes et Télégraphes peuvent délivrer aux abonnés au réseau téléphonique de Paris, sur la présentation de leur contrat, des cartes d'abonnement dont le prix est de 40 francs par an, et qui leur permet de communiquer dans toutes les cabines téléphoniques publiques, que ces cabines soient installées dans les bureaux télégraphiques ou dans ceux de la Société des Téléphones.

TEINTURE PAR L'ÉLECTROLYSE. — Procédé imaginé par M. Goppelsröder pour la fabrication des matières colorantes et pour la teinture, et basé sur ce fait que certaines matières organiques en dissolution donnent naissance à des composés nouveaux lorsqu'elles sont soumises à l'action d'un courant électrique. Suivant M. Goppelsröder, les actions obtenues résultent de celles exercées par l'oxygène et l'hydrogène à l'état naissant qui se dégagent lorsqu'on électrolyse l'eau. Ces gaz agissent sur la matière colorante et donnent naissance, dans le voisinage des électrodes, à des produits qui peuvent être utilisés ; mais on comprend qu'il faut employer des procédés particuliers pour empêcher que ces matières ne se mélangent par diffusion dans le liquide. On y arrive en plaçant les électrodes dans deux vases séparés réunis par une anche poreuse faisant siphon ou en plaçant un vase poreux dans une cuve, en versant du liquide à l'intérieur et à l'extérieur, et en plaçant l'une des électrodes dans le vase poreux et l'autre en dehors de ce vase. En opérant comme nous venons de l'indiquer, M. Goppelsröder a obtenu :

Le *noir d'aniline*, en électrolysant une dissolution aqueuse de chlorhydrate d'aniline acidulée d'un peu d'acide sulfurique ;

Des *bleus d'aniline*, en électrolysant des chlorures de méthylaniline, de diphenylamine et de méthylidiphénylamine, etc.

On peut teindre directement des étoffes ou du papier en plaçant ces matières préalablement imbibées d'une dissolution de chlorhydrate d'aniline, par exemple, sur une plaque métallique inattaquable, mise en relation avec l'une des bornes d'une machine, en posant sur la matière à teindre une autre plaque métallique inattaquable, portant en relief le dessin à reproduire, et reliée avec l'autre borne de la machine, et enfin en faisant passer le courant dans le système ainsi constitué pendant un temps très court. On obtient de la sorte la reproduction en noir du dessin en relief que porte la plaque métallique. En remplaçant cette plaque par une pointe en métal ou en charbon que l'on promène sur l'étoffe ou sur le papier, on peut tracer un dessin fixé d'une manière indélébile.

Pour teindre l'étoffe en entier on produit préalablement sur elle un dépôt très mince d'un métal qui la rend conductrice, puis on la met en relation avec le pôle positif de la machine et on la plonge dans un bain où se trouve l'autre électrode placée dans le voisinage. Le noir se forme et se fixe sur la fibre du tissu.

On peut aussi ronger la couleur de manière à produire un dessin blanc sur fond coloré ; le tissu, teint uniformément avec une dissolution contenant du persulfate et du sel marin, est placé entre deux plaques métalliques entre lesquelles passe le courant. Il se produit à l'électrode positive du chlore et de l'acide azotique qui détruisent la couleur.

Enfin, on prépare par le procédé que nous venons de décrire des cuves d'indigo. On fait passer un courant pendant trois ou quatre heures dans une dissolution d'indigo finement broyé dans de la potasse caustique. Il se produit un dégagement d'hydrogène et l'indigo bleu se transforme en indigo blanc par réduction. Un tissu de coton plongé dans ce bain, puis abandonné à l'air, est teint en bleu comme dans les cuves ordinaires. (Gariel, *Traité pratique d'Électricité*.)

TÉLAUTOGRAPHIE. — Appareil imaginé par M. Elisha Gray pour reproduire télégraphiquement un document quelconque, un ordre de Bourse, par exemple, dans l'écriture même de son expéditeur. Le

principal organe de l'instrument est la plaque sur laquelle on écrit. Il n'est pas nécessaire d'avoir une plume ou un crayon spécial; on peut employer un instrument quelconque, même un morceau de bois. Le papier sur lequel on écrit ne subit aucune préparation, car c'est la pression sur la plaque, à la station de transmission, qui fait fonctionner la machine, tandis que la reproduction s'effectue au moyen d'une pointe mobile qui peut être une plume avec de l'encre, ou bien un simple crayon. Les expériences effectuées par M. Gray dans son laboratoire lui ont donné des résultats satisfaisants.

Cet instrument est assez analogue au **répondeur** : la plaque du transmetteur, au lieu de vibrer sous l'influence de la parole, vibre sous la pression d'un style; le récepteur téléphonique impressionne l'oreille, celui du téléautographe met en mouvement une plume ou un crayon.

TÉLECTROSCOPE. — Nom donné par M. Senlecq d'Adres à un appareil imaginé par lui, en 1877, pour obtenir la transmission et la reproduction d'une image. Les expériences faites par M. Senlecq d'Adres prouvent que le **sténéux** peut reproduire électriquement par des têtes plus ou moins foncées des impressions lumineuses plus ou moins intenses. (V. **TELETYPE**.)

TÉLÉGRAMME (du grec *têlê*, loin; *gramma*, écriture). — Communication transmise à l'aide du télégraphe.

Dans le langage courant on remplace très souvent le mot *télégramme* par le mot *dépêche*, qui est plus court, mais qui prête à confusion. On désigne sous les noms de :

Télégrammes simples ou ordinaires, ceux dont le libellé ne comprend nécessairement et successivement que : 1° en tête, l'adresse; 2° le texte (dans le service international, les télégrammes sans texte peuvent être admis); 3° le nom, c'est-à-dire la signature de l'expéditeur (dans la correspondance internationale la signature peut être omise).

Télégrammes spéciaux, qui comportent une rédaction spéciale, à raison soit de leur objet même, ou bien de leur mode de remise, soit des recommandations particulières ou des précautions qui les entourent et du but qu'ils ont en vue.

Sont considérés comme télégrammes spéciaux : les télégrammes-mandats, les télégrammes avec réponse payée, les télégrammes urgents, recommandés, collationnés, sémaphoriques, avec accusé de réception, à faire suivre, par exprès, par poste, télégraphe restant, avec reçu.

D'une manière générale, les télégrammes spéciaux se distinguent des télégrammes simples ou ordinaires par certaines formules réglementaires, qui prennent le nom d'*indications éventuelles* et qui doivent toujours prendre place immédiatement avant l'adresse, place obligatoire et caractéristique, où l'expéditeur est tenu de les écrire. Par suite, le libellé des télégrammes spéciaux comporte nécessairement et successivement : 1° en tête, les indications éventuelles; 2° l'adresse; 3° le texte; 4° la signature.

Télégrammes officiels, ceux qui, intéressant le service de l'État, sont expédiés par des fonctionnaires publiés auxquels le droit de franchise télégraphique a été accordé par arrêté ministériel.

Télégrammes de service, ceux qui, émanant soit de l'administration centrale des Télégraphes, soit des fonctionnaires dûment autorisés, ont trait à des questions d'administration, de personnel, de construction.

Télégrammes-mandats, ceux qui, ainsi que leur nom l'indique, servent à l'envoi de fonds. L'émission en est confiée aux guichets télégraphiques désignés à cet effet, et qui sont considérés, au point de vue de ces opérations spéciales, comme guichets succursales du service de la poste.

Les mandats télégraphiques intérieurs ne peuvent dépasser la somme de 5.000 francs, et 500 francs dans les rapports avec les divers pays européens qui ont adhéré à ce mode d'envoi d'argent.

Aucun dépôt excédant cette somme de 5.000 francs ne devra être accepté ni dans le service intérieur, ni dans le service international. Vouloir dépasser ce maximum, en prenant plusieurs mandats, c'est s'exposer à voir retarder le paiement au lieu de destination. Si l'expéditeur persiste dans sa demande, c'est à ses risques et périls qu'il y est fait droit.

Télégramme avec « Réponse payée », ceux dont l'expéditeur a affranchi la réponse qu'il demande à son correspondant. Ce droit d'affranchissement est illimité dans le service intérieur; il ne peut, dans le service international, excéder la taxe d'un télégramme ordinaire de trente mois, pour le même parcours.

L'expéditeur qui veut affranchir la réponse inscrit, avant l'adresse et entre parenthèses, l'indication *Réponse payée*, ou (RP), qu'il fait suivre du nombre de mois payés pour la réponse. Si ces indications figurent partout ailleurs qu'avant l'adresse ou si elles ne sont pas formulées en langue française, elles sont considérées comme nulles et non avenues.

Télégrammes urgents, ceux auxquels l'expéditeur assure la priorité de transmission en inscrivant avant l'adresse l'indication (U) ou *Urgent*, et en versant le triple de la taxe d'un télégramme simple de même longueur pour le même parcours.

Dans le régime intérieur, on a *admet pas de* « télégramme privé urgent ». Ils peuvent être acceptés pour la plupart des États européens et quelques régions de l'Asie.

Télégrammes recommandés, ceux qui, moyennant l'inscription, avant l'adresse, de l'indication *recommandé* ou du signe (TR), sont collationnés intégralement et pour lesquels il est délivré un accusé de réception. Les télégrammes recommandés ne sont admis que dans le régime intérieur.

Télégrammes collationnés, ceux dont l'expéditeur, dans le but d'assurer l'exactitude de la transmission, demande la répétition *intégrale* de bureau à bureau. L'indication éventuelle que l'expéditeur doit écrire avant l'adresse est le mot *collationné* ou le signe (TC). Le texte du collationnement n'est pas remis à l'expéditeur.

Télégrammes sémaphoriques, ceux qui sont échangés avec les navires en mer par l'intermédiaire des sémaphores établis sur le littoral. Ils doivent être rédigés, soit dans la langue du pays où est situé le sémaphore chargé de les signaler, soit en signaux du code commercial universel.

Ces signaux comprennent 18 consonnes : *b, c, d, f, g, h, j, k, l, m, n, p, q, r, s, t, v, w*.

Dans ce dernier cas, les télégrammes sont considérés comme des télégrammes chiffrés.

Toutefois, dans la correspondance entre les belligères de guerre français et les sémaphores du territoire, l'usage des chiffres arabes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 est autorisé; mais il est interdit de combiner les chiffres avec les lettres. Le nombre des signaux dont chaque groupe peut se composer est de quatre.

Quand les télégrammes sémaphoriques sont à des-

lination des navires en mer, l'adresse doit comprendre, outre les indications ordinaires, le nom ou le numéro officiel du bâtiment destinataire et sa nationalité.

Tout télégramme sémaphorique doit porter dans le préambule l'indication *sémaphorique*.

Les télégrammes provenant d'un navire en mer sont transmis à destination en signaux du code commercial lorsque l'expéditeur le demande. Autrement, ils sont traduits en langage ordinaire par le préposé du poste sémaphorique et transmis à destination.

Télégrammes avec accusé de réception. — L'accusé de réception d'un télégramme est la transmission par le bureau d'arrivée de la date et de l'heure de remise de ce télégramme au domicile du destinataire.

L'expéditeur qui demande que l'accusé de réception d'un télégramme lui soit notifié aussitôt après la remise de celui-ci, inscrit avant l'adresse l'indication *Accusé de réception* ou le signe conventionnel (CR). La taxe de l'accusé de réception est égale à celle d'un télégramme simple de dix mots par la même voie.

Télégrammes à faire suivre. — Tout expéditeur peut, en inscrivant avant l'adresse l'indication *Faire suivre*, ou le signe (FS), demander que le bureau d'arrivée fasse suivre son télégramme dans les limites adoptées pour le service international du régime européen; les télégrammes à faire suivre n'étant pas acceptés en dehors de l'Europe.

Le télégramme peut renfermer des adresses successives, si l'expéditeur indique, par la rédaction de l'indication de « faire suivre », que le télégramme doit être transmis successivement à chacune des destinations jusqu'à la dernière inclusivement s'il y a lieu.

La taxe à percevoir au départ pour les télégrammes à faire suivre est simplement la taxe afférente au premier parcours, l'adresse complète entrant dans le nombre des mots. La taxe complémentaire est perçue sur le destinataire, par le bureau d'arrivée qui effectue la remise du télégramme.

Si les réexpéditions ont lieu dans les limites de l'État auquel appartient le bureau d'arrivée, la taxe complémentaire à percevoir sur le destinataire est calculée, pour chaque réexpédition, suivant le tarif inférieur de cet État. Si les réexpéditions ont lieu hors de ces limites, la taxe complémentaire est calculée en considérant comme autant de télégrammes séparés chaque réexpédition internationale. Le tarif pour chaque réexpédition est le tarif applicable aux correspondances échangées entre l'État qui réexpédie et celui auquel le télégramme est réexpédié.

Les taxes à percevoir pour « dépêches à faire suivre » sont calculées d'après le tarif de la voie normale, à moins d'indications contraires données par l'expéditeur au moment du dépôt du télégramme.

Il est formellement interdit de faire suivre un télégramme mandata.

Télégrammes multiples. — Ce sont ceux adressés soit à plusieurs destinataires dans une même localité, soit à un même destinataire à plusieurs domiciles dans la même localité. On n'accepte pas comme télégramme multiples un télégramme qui serait adressé à plusieurs localités télégraphiques différentes.

Télégrammes par exprès. — L'expéditeur qui demande que son télégramme soit envoyé par exprès au domicile du destinataire par les soins du bureau d'arrivée est tenu :

A. Dans le service intérieur, de payer d'avance les frais de transport au delà du bureau télégraphique d'arrivée, d'inscrire avant l'adresse l'indication *Exprès payé* ou (XP), de faire suivre dans l'adresse le nom de

la localité destinataire du nom du bureau télégraphique chargé d'effectuer ce transport.

Si l'expéditeur ou le bureau d'origine ne connaît pas le nom du bureau télégraphique le plus rapproché de la localité de destination, on se borne à inscrire dans l'adresse, à la suite du lieu de destination, le nom du bureau chef-lieu de l'arrondissement ou du département auquel appartient le lieu de destination.

Il est interdit, dans le service intérieur, de se borner à inscrire avant l'adresse, le seul mot *Exprès*.

Lorsque la localité destinataire, bien qu'elle ne possède pas de bureau télégraphique, est désignée par une gare, un sémaphore ou un autre bureau télégraphique quelconque, trois cas peuvent se présenter :

1^o La localité porte exactement le même nom que le bureau télégraphique qui la dessert : la perception des frais fixes est toujours obligatoire, sans qu'il y ait lieu d'insérer avant l'adresse l'indication *Exprès payé*, (XP);

2^o La localité destinataire porte un nom différent de celui du bureau télégraphique qui la dessert : l'insertion de l'indication éventuelle *Exprès payé* ou (XP) avant l'adresse est nécessaire;

3^o Le bureau de gare destinataire porte un nom double commun à deux localités voisines : l'insertion *Exprès payé* ou (XP) avant l'adresse est obligatoire.

B. Dans le service international, l'expéditeur peut demander que les frais d'express soient perçus sur le destinataire; il se borne, dans ce cas, à inscrire avant l'adresse l'indication *Exprès*. Si l'expéditeur veut payer d'avance les frais d'express, en déposant des arrhes dont la quotité est fixée par le receveur, il inscrit avant l'adresse l'indication *Exprès payé* ou (XP) et celle de (CR) pour demander un accusé de réception dont il verse également le coût. Le (CR) transmis ultérieurement par le bureau d'arrivée permet la liquidation des arrhes.

Toutefois, pour les télégrammes internationaux, l'envoi par exprès ne peut être demandé que pour les États qui ont organisé, pour la remise des télégrammes, un mode de transport plus expéditif que la poste et ont notifié aux autres États les dispositions prises à cet égard.

Télégrammes par poste. — Lorsque l'expéditeur a inscrit avant l'adresse une indication éventuelle (poste ou (PP), poste recommandée, poste restante, poste en gare) en vertu de laquelle son télégramme doit être acheminé sur le lieu de destination, par voie postale, à partir du bureau d'arrivée (ce bureau ne doit être ni un bureau sémaphorique, ni un bureau éclusé ou barrage), il n'y a pas de taxe postale à percevoir, hormis les cas suivants :

1^o Lorsque le télégramme doit être envoyé par lettre recommandée (indication : *Poste recommandée*), on perçoit la taxe de la recommandation postale;

2^o Lorsque le bureau d'arrivée est une gare, les frais fixes d'express doivent être perçus à moins que l'expéditeur ne fasse suivre la mention *poste des mots*. En gare. Si le télégramme porte l'indication *Poste recommandée*, la perception des frais fixes d'express et de la recommandation postale est obligatoire.

3^o Les télégrammes intérieurs, c'est-à-dire ceux qui circulent exclusivement sur le réseau télégraphique français, s'ils sont adressés à un bureau télégraphique frontière pour être expédiés de là par la poste dans un pays étranger, donnent lieu à la perception, au départ, de la taxe intégrale d'une lettre recommandée conformément au tarif postal correspondant. L'indication éventuelle *Poste recommandée* est obligatoire.

4^o Les télégrammes internationaux, c'est-à-dire

ceux qui empruntent partiellement le réseau télégraphique étranger, sont soumis, lorsqu'ils doivent traverser la mer par voie postale, à une taxe *variable* que doit percevoir le bureau d'origine. Cette taxe est de 1 franc pour la France, la Belgique, la Grande-Bretagne et le Portugal.

Télégrammes adressés télégraphe restant. — Dans un télégramme à remettre dans le bureau d'arrivée, il est rigoureusement interdit de se servir de la locution « bureau restant ». L'expression « poste restante » doit seule être employée pour désigner le guichet de la poste comme lieu de remise. L'expression *Télégraphe restant* est seule admise pour désigner comme lieu de remise le bureau destinataire, quel qu'il soit.

Il est interdit de faire suivre le nom du destinataire des mots *en gare* ou *gare*, hormis les deux cas suivants : 1^o lorsque le destinataire, en sa qualité de chef, d'employé, ou de buffetier a son domicile dans la gare; 2^o lorsque l'expéditeur a inscrit l'indication éventuelle *Poste en gare*.

Télégrammes adressés poste restante. — L'expéditeur peut demander que le télégramme qu'il envoie soit remis au destinataire « poste restante ». Il doit alors se servir exclusivement de l'indication éventuelle *Poste restante*.

Télégrammes avec reçu. — (V. TAKE, *Télégrammes spéciales divers*.)

Télégrammes personnels. — Si l'expéditeur a formulé avant l'adresse l'une des indications suivantes : *Télégramme personnel*, *remettre à lui-même*, ou *en mains propres*, le bureau d'arrivée a le devoir de ne délivrer le télégramme qu'à la personne même dont le nom figure dans l'adresse. Le destinataire doit signer un reçu. L'expéditeur est tenu d'insérer avant l'adresse l'indication éventuelle *avec reçu*. Mais la taxe du réexpédié de dépôt n'est due que si l'expéditeur l'a réclamé, à quoi il n'est jamais astreint.

Télégrammes pneumatiques. — On désigne ainsi ceux qui sont transmis, non électriquement, mais par la voie des tubes pneumatiques, dans l'enceinte de quelques villes. Ils doivent être rédigés sur des formules spéciales affranchies. La taxe en est pour Paris de 30 centimes pour les dépêches ouvertes, de 50 centimes pour les dépêches fermées, et de 60 centimes pour les dépêches ouvertes avec réponse payée.

Télégrammes remis ouverts. — Lorsque l'expéditeur demande que le télégramme soit remis ouvert, il le fait connaître en inscrivant avant l'adresse *Remis ouvert* ou (RO).

Au départ, on doit accepter les télégrammes à remettre ouverts pour toutes les destinations comprises dans le service intérieur, pour la plupart des pays d'Europe, et dans quelques pays soumis au régime extra-européen. Il est à remarquer qu'on ne doit pas les accepter pour la Grande-Bretagne et l'Amérique.

Télégrammes en langage secret. — Ceux qui sont rédigés en langage contenu ou en langage chiffre : on entend par langage contenu l'emploi de mots qui, tout en présentant chacun un sens intrinsèque, ne forment point des phrases compréhensibles pour les bureaux ou les Offices en correspondance. Dans le service intérieur et le régime européen, les télégrammes en langage contenu ne doivent contenir que des mots appartenant à l'une des langues admises par les États de l'union pour la correspondance internationale en langage clair. Tout télégramme en langage contenu ne doit contenir que des mots pris dans une même langue et présentant chacun un

sens intrinsèque. Dans le régime extra-européen, les télégrammes en langage contenu ne peuvent contenir que des mots appartenant aux langues : allemande, anglaise, espagnole, française, italienne, néerlandaise, portugaise et latine. Tout télégramme peut contenir des mots puisés dans toutes ces langues. Les noms propres ne sont admis dans la rédaction des télégrammes en langage contenu qu'avec leur signification en langage clair. Sont considérés comme télégrammes en langage chiffre : 1^o ceux qui contiennent un texte en lettres chiffrées ou en lettres secrètes; 2^o ceux qui renferment soit des séries ou groupes de chiffres ou de lettres dont la signification ne serait pas connue du bureau d'origine, soit des mots, des noms ou des assemblages de lettres ne remplissant pas les conditions exigées pour le langage clair. Le texte des télégrammes chiffrés peut être soit entièrement secret, soit en partie secret et en partie clair. Le texte chiffré doit être composé exclusivement de lettres de l'alphabet ou exclusivement de chiffres arabes. Dans le service intérieur les télégrammes en langage secret sont obligatoirement soumis à la recommandation.

Télégrammes de presse. — Télégrammes exclusivement destinés à être publiés dans les journaux. En France, depuis le 15 juillet 1886, la taxe des dépêches intérieures de cette nature est réduite à 50 % du tarif appliqué aux dépêches privées ordinaires.

Cette réduction, qui ne concerne que la taxe principale, est acquise à tous les journaux, publications périodiques ou agences de publicité pour la presse autorisées par le ministre, pour tous les télégrammes de presse.

Les correspondants de journaux seront admis à bénéficier du tarif réduit sur la production de cartes d'identité qui sont délivrées au directeur du journal, sur une demande spéciale adressée par lui au ministre des Postes et Télégraphes. Elles devront être revêtues de la signature du directeur du journal et de celle du correspondant.

Les correspondants de plusieurs journaux pourront faire substituer une carte unique à toutes celles qui leur auront été délivrées. Ces dernières, portant la signature du directeur de chacun des journaux, seront remises à l'administration centrale et seront échangées contre une autre portant, avec le nom et la signature du correspondant, la liste des journaux avec lesquels celui-ci est autorisé à correspondre à demi-tarif.

Les dépêches de presse, admises à bénéficier du tarif réduit, doivent être exclusivement rédigées en langage clair : le langage chiffré ou contenu est absolument interdit. Elles ne peuvent être adressées par le correspondant qu'au journal désigné dans la carte. Elles ne doivent contenir que des informations destinées à être publiées dans le journal, à l'exclusion de toute communication ayant un caractère personnel soit au correspondant, soit à l'administration du journal.

La réduction, toutefois, ne s'applique pas aux gares de chemins de fer ouvertes à la télégraphie privée.

La transmission des correspondances de presse est soumise à toutes les règles de la correspondance télégraphique ordinaire.

La distribution des dépêches de presse s'effectue également dans les mêmes conditions que la distribution des télégrammes ordinaires. Les receveurs sont tenus toutefois d'exercer sur ce service une surveillance particulière.

Ces dispositions s'appliquent aux télégrammes de

presse circulant à l'intérieur de l'Algérie et de la Tunisie, et à ceux échangés entre la métropole et l'Algérie et la Tunisie et réciproquement. (Décret du 9 avril 1887.)

Nombre de télégrammes transmis en 1886.

(D'après une statistique publiée par le Journal télégraphique de Berne dans son n° 11, novembre 1887.)

ÉTATS.	TÉLÉGRAMMES			TOTAL.
	INTÉRIEURS.	INTERNATIONAUX.	DE SERVICE.	
Belgique.....	2.401.935	1.976.217	103.926	4.482.078
Bosnie-Herzégovine.....	116.168	147.717 (1)	24.054	287.939
Bulgarie.....	484.117	92.962	35.082	612.141
Cochinchine.....	108.782	22.056	20.120	150.958
Danemark.....	557.261	747.911	27.937	1.303.109
Égypte.....	293.174	20.808	350.224 (2)	664.206
Espagne.....	2.639.881	801.656	62.051	3.503.588
France. { Continent et Corse.....	26.481.370	5.249.283	2.339.315	31.069.977
{ Algérie et Tunisie.....	1.545.480	69.602	154.452	1.769.534
Grande-Bretagne et Irlande.....	46.016.032	5.772.479 (3)	" (3)	51.788.511 (5)
Grèce.....	617.444	172.122	19.051	799.617
Hongrie.....	1.887.803	2.584.377	152.140	3.624.320
Italie.....	6.597.333	1.480.658 (6)	198.978	8.276.969
Luxembourg.....	27.972	57.132	1.498	86.602
Norvège.....	479.091 (7)	371.808	5.667	856.626
Pays-Bas.....	2.030.201	1.592.609	30.622	3.652.832
Sénégal.....	35.489 (8)	4.419	958	40.866
Serbie.....	380.207	92.813	5.091	478.111
Siam.....	2.266	7.327	2.909	19.602
Suède.....	569.764	610.978	48.024	1.190.660
Suisse.....	1.793.938	1.283.924	406.608	3.484.470

(1) Y compris 91.026 télégrammes en destination ou en provenance de l'Autriche-Hongrie.
 (2) Y compris les dépêches de chemins de fer.
 (3) Y compris les télégrammes échangés directement par des compagnies de câbles sans passer par les lignes de l'administration.
 (4) Aucun relevé n'en a été fait.
 (5) Non compris les télégrammes de service; le maximum des télégrammes expédiés pendant une semaine de l'année, 10 juillet 1886, s'est élevé à 1.213.679. La moyenne des mots transmis pour la presse pendant un semaine a été de 9.765.315.
 (6) Non compris 42.473 télégrammes expédiés et reçus par les bureaux de chemins de fer.
 (7) Non compris 32.174 télégrammes privés expédiés par les bureaux de chemins de fer.
 (8) Les renseignements relatifs au haut Sénégal ou Soudan français manquent.

TÉLÉGRAPHE (du gr. *têle*, loin; *graphô*, j'écris). — Appareil au moyen duquel on peut communiquer à distance.

Télégraphe aérien. — Système de télégraphe dans lequel des employés, placés sur des hauteurs, observent à distance, à l'aide de lunettes, des signaux qu'on leur fait, et les transmettent de proche en proche.

Télégraphe électrique. — Appareil électrique destiné à transmettre à distance des communications, au moyen d'un fil conducteur. (V. au mot TÉLÉGRAPHIE la description des principaux systèmes de télégraphes électriques.)

Télégraphe marin. — Appareil dont on se sert pour transmettre les signaux en mer.

Télégraphe militaire. — Appareil employé pour transmettre les ordres du général en chef aux divers corps de son armée.

TELEGRAPHIE — Art de construire les télégraphes et de les faire fonctionner.

Historique de la télégraphie. — Chez tous les peuples et à toutes les époques de l'histoire, on a employé des signaux pour transmettre rapidement à distance des messages importants. Les Grecs se servaient de feux allumés au sommet des tours ou sur des montagnes, et que l'on appelait *pyrres*; on en apercevait la fumée pendant le jour et la flamme pendant la nuit.

Dans la première scène d'*Agamemnon*, Eschyle représente un vieux serviteur épiant depuis deux années le feu qui, allumé sur le mont Ida et répété sur le mont Athos, doit faire connaître à Clytemnestre la prise de Troie. La langue grecque est d'ailleurs remplie de mots relatifs à l'art des signaux.

César dit, dans ses *Commentaires*, que les Gaulois, d'une province à l'autre, s'avertissaient, au moyen de feux allumés sur les montagnes, de tous les mouvements de son armée.

On trouve encore en France les ruines de tours bâties par les Romains et destinées à servir de signaux télégraphiques. Ceux-ci étaient commandés par des officiers spéciaux qu'on voit représentés, le casque en tête et l'épée en main, dans un des compartiments

les plus élevés de la colonne Trajane. L'instrument consistait en un flambeau de poix-résine suspendu au bout d'une longue perche. Les signaux s'obtenaient par les mouvements plus ou moins rapides de ces torches au travers de la fenêtre d'une goérite.

Aux torches et aux drapeaux, on substituait plus tard des bâtons ou des planches.

Polybe fait mention d'un certain Cléozène, qui avait inventé une méthode à l'aide de laquelle on pouvait faire lire à une grande distance ce que l'on voulait communiquer.

Tauherlan se servait de drapeaux pour dicter ses conditions aux villes assiégées. Enfin, les Chinois ont, dit-on, possédé très loin l'art de la correspondance aérienne.

Néanmoins, la télégraphie devait toujours rester rudimentaire tant que l'optique n'aurait pas fourni des instruments permettant d'étendre la vue à de grandes distances. Pour écrire au loin, la première condition est de voir au loin.

Ce fut un de nos académiciens les plus distingués, Amontons, qui, à la fin du XVII^e siècle, proposa l'emploi des lunettes d'approche pour observer les signaux. Il fit quelques essais qui excitèrent la curiosité, sans conduire à des applications utiles. D'autres essais nombreux suivirent sans plus de succès ceux d'Amontons, et il semble que l'on doit reconnaître comme véritables inventeurs de la télégraphie les frères Chappe, qui eurent les premiers assez de talent pour créer une machine simple et facile à manœuvrer pour faire les signaux, et assez de persévérance pour la faire universellement adopter. C'est le 12 juillet 1793 qu'après avoir eu à lutter contre la fureur d'un peuple aveugle les inventeurs purent enfin faire fonctionner librement leur appareil en présence des commissaires nommés par la Convention. Le succès fut complet, et l'établissement des lignes télégraphiques fut aussitôt décrété. La première fut établie entre Paris et Lille, le 14 août 1793. Un rapport de Barère, du 15 août 1794, confirme tous les avantages que l'on s'était promis de ces utiles établissements. « Les communications se font, dit-il, avec la rapidité de l'éclair, et les ordres du comité de Salut public arrivent même à travers une armée assiégante. »

La première dépêche transmise par le télégraphe aérien fut la nouvelle de la prise de Condé sur les Autrichiens (1^{er} septembre 1794) : la reddition avait eu lieu le matin ; à une heure, au moment où la Convention ouvrait sa séance, Carnot fit part de la dépêche reçue de Lille à midi ; un message fut immédiatement expédié à Lille, et contenait une félicitation de la Convention et un décret changeant le nom de Condé en celui de Nord-Libre ; avant la fin de la séance, la Convention reçut à son tour une réponse à sa dépêche, annonçant que le décret allait être transmis immédiatement de Lille à Condé.

Bientôt, deux nouvelles lignes furent créées, celle de Paris à Strasbourg (1797) et celle de Paris à Brest (1798) ; puis l'établissement d'une ligne allant de Paris à Lyon par Dijon fut ordonné ; elle ne fut terminée et prolongée jusqu'à Turin que plus tard ; elle fut mise en activité en 1801.

En 1813, Napoléon ordonna de prolonger la ligne de l'Est jusqu'à Mayence par un embranchement partant de Metz. En 1816, une nouvelle ligne fut établie de Paris à Calais ; et dès 1828, on faisait fonctionner trois autres lignes nouvelles : l'une de Lyon à Toulon, une autre de Paris à Bordeaux, par Orléans, Poitiers et Angoulême, enfin la troisième, d'Avignon à Perpignan, par Nîmes et Montpellier.

L'emploi de l'électricité a rendu la télégraphie bien plus parfaite et a permis de transmettre les signaux

presque instantanément, quel que soit l'état de l'atmosphère, et même pendant la nuit. Les télégraphes aériens étaient, en effet, réduits à l'inaction pendant la nuit, et même pendant le jour lorsque le temps devenait brumeux.

On pense généralement que la pile électrique est indispensable à l'existence d'un télégraphe. Cependant, vers 1774, Lesage, savant genevois, imagina le premier télégraphe électrique. Il employait l'électricité statique et se servait pour électromoteur d'une machine électro-statique. Un fil particulier était affecté à chaque lettre. Il y en avait donc vingt-quatre, aussi bien isolées que possible. On faisait passer le décodeur de la machine par tel ou tel fil, et un électromètre correspondant indiquait la présence du fluide électrique et par suite une lettre. Franklin eut aussi l'idée d'appliquer l'électricité à la transmission des dépêches. Ce qui manquait, c'était une source d'électricité plus commode que les machines électriques. Cette difficulté fut résolue par l'invention de la pile voltaïque en 1800. Ce ne fut néanmoins qu'en 1811 que Sammering eut l'idée de son application à la télégraphie. Il utilisa pour cela le phénomène de la décomposition de l'eau, le seul connu alors de tous les effets remarquables produits par la pile. Il eut autant de fils que de lettres, et à l'extrémité de chaque fil était un voltamètre.

Dix ans après la découverte de la pile, en 1819, Ørsted indiqua le premier la déviation de l'aiguille aimantée, sous l'action du courant électrique. Immédiatement, Ampère proposa un système de télégraphie. Voici comment il s'exprime :

« Autant d'aiguilles que de lettres de l'alphabet, mises en mouvement par des conducteurs communiquant successivement avec la pile à l'aide des touches d'un clavier qu'on abaisserait à volonté, pourraient donner lieu à une correspondance télégraphique qui franchirait toutes les distances et serait aussi prompt que l'écriture ou la parole pour transmettre la pensée. »

En 1823, Romalds fit un télégraphe à cadran, dont les signaux apparaissaient les uns après les autres par une petite ouverture.

En 1832, le baron Schilling imagina un télégraphe où les signaux étaient toujours produits par l'aiguille aimantée. Cooke et Wheatstone établirent ce télégraphe en Angleterre, en réduisant le nombre des fils d'abord à cinq, puis définitivement à deux.

Enfin, en 1838, Morse, de New-York, présenta à l'Académie des Sciences le télégraphe qui porte son nom. Ce télégraphe jouit de plusieurs avantages. Il n'exige qu'un seul fil électrique, et de plus, c'est le premier des télégraphes écrits ; au lieu de faire simplement des signaux, il écrit la dépêche et l'emploie gardée entre ses mains un document certain, palpable, lisible, qui est garant de sa véracité et de son exactitude.

Jusqu'à l'année 1845, en France, on n'avait encore réalisé aucun progrès sous le rapport de la télégraphie électrique. Arago, membre de la Chambre des députés, fit un rapport qui appela l'attention du gouvernement sur la nécessité d'introduire dans notre pays ce système rapide de communication de la pensée. Un crédit fut voté pour établir une ligne d'essai entre Paris et Rouen.

Cette même année 1845, Bréguet imagina un premier système de télégraphe, qui imitait les signaux du télégraphe aérien. Il a été longtemps employé exclusivement pour les besoins du gouvernement, de même que le télégraphe à cadran Bréguet avec lettres et chiffres fut longtemps exclusivement employé pour les correspondances des administrations de chemins de fer et de ces particuliers.

Dans ces derniers temps, on s'est particulièrement

adonné au perfectionnement des télégraphes écrits ; nous signalerons tous ces perfectionnements plus loin, en faisant la description des appareils.

Enfin, depuis quelques années, un nouveau système télégraphique tend à se substituer au télégraphe électrique pour la transmission des dépêches à l'intérieur d'une même ville, à quelques kilomètres de distance ; c'est le télégraphe pneumatique, fondé sur la force de détente de l'air comprimé ; les appareils de ce système fonctionnent à Londres depuis 1838, à Paris et à Berlin depuis 1866.

Les divers systèmes de télégraphie peuvent être classés tout d'abord, d'après l'idée qui leur a servi de principe ou la manière dont cette idée a été appliquée, en *télégraphes à signaux aériens ou optiques, télégraphes électriques aériens, souterrains et sous-marins, enfin télégraphes pneumatiques.*

Mais pour faciliter les recherches nous avons préféré adopter un ordre alphabétique. On trouvera plus loin la description détaillée des divers systèmes et appareils télégraphiques.

Applications de la télégraphie. — L'usage de la télégraphie, d'abord restreint, s'est rapidement développé à mesure que les réseaux se sont étendus, que les TAXES se sont abaissées et que le public s'est habitué à ce moyen de communication.

Le service télégraphique exigeant, plus que tout autre, de la part des fonctionnaires, des garanties de moralité et de scrupuleuse discrétion, la télégraphie pouvant d'ailleurs être utilisée comme moyen d'action politique, bon nombre de gouvernements se sont réservé le monopole des transmissions télégraphiques : dans quelques pays, tels que l'Angleterre et les États-Unis, la télégraphie a été confiée à des compagnies libres, mais l'État conserve la priorité pour ses dépêches et le droit d'interrompre ou de suspendre le cours des dépêches privées.

Cryptotélégraphie. — L'idée de rendre une communication indiscutable pour tout autre que celui qui en a la clef est indépendante de la télégraphie, mais elle a été naturellement appliquée aux diverses sortes de télégraphie. On a dans ce but formé des vocabulaires composés d'un nombre déterminé de pages et de lignes et dans lesquels chaque ligne représente une phrase complète ; on a fait de ces vocabulaires pour la marine, les opérations militaires, les relations diplomatiques.

Avec la télégraphie électrique ou pneumatique on peut se borner, pour faire de la *cryptotélégraphie*, à changer l'interprétation des caractères de l'alphabet au moyen d'une clef. Wheatstone d'abord, MM. Vinay et Gaussin ensuite ont construit des cryptographes mécaniques, tous de deux appareils identiques étant entre les mains de deux correspondants, chacun puisse par une simple manœuvre obtenir la traduction ou même l'impression soit de la dépêche en lettres secrètes, soit au contraire de signaux secrets en langage usuel.

Télégraphie navale. — Les sémaphores placés le long des côtes indiquent la présence des navires voisins des ports, facilitent les services de surveillance, l'échange des signaux avec les bâtiments peu éloignés, et on les a reliés aux différentes stations télégraphiques du continent par un réseau spécial. On peut ainsi à chaque instant connaître l'état de la mer et recevoir des dépêches.

Les navigateurs ont besoin de se régler au départ d'un port sur l'heure d'un méridien particulier, celui de Paris ou de Greenwich, par exemple ; la télégraphie a permis d'atteindre ce résultat : la détermina-

tion des différences de longitudes a pu se faire plus exactement par la télégraphie électrique que par les anciens procédés, et grâce au développement de réseaux, on a rectifié les plus petites erreurs accumulées d'un point à l'autre.

On a fait en Allemagne et en France des expériences de transmission lumineuse Morse au moyen de lampes à INCANDESCENCE. M. Kaschouki de Berlin a proposé d'appliquer ce système pour permettre à des navires de correspondre entre eux ou avec la terre. Les lampes sont fixées à un mât et communiquent avec une MACHINE dynamo-électrique ainsi qu'avec un appareil Morse sur la bande duquel on obtient les points et les traits correspondant exactement à la durée des apparitions lumineuses. Le commandant de navire conserverait ainsi une copie des signaux envoyés par lui, ce qui pourrait être fort important dans certaines circonstances.

Télégraphie météorologique. — On a reconnu, depuis quelques années, que la marche des grands météores, tempêtes, ouragans, est soumise à des lois générales, bien qu'au premier abord la suite des phénomènes dont ils sont la cause semble être indépendante de toute considération théorique. On peut prévoir quelle sera la trajectoire de ces météores et la signaler par le télégraphe ; les vents, les bourrasques, les tourbillons peuvent être annoncés, ainsi que la température probable, au moyen des renseignements particuliers arrivant successivement des divers postes. C'est Le Verrier qui a le premier organisé un service régulier d'observations météorologiques : depuis, sur l'initiative du corps des Ponts et Chaussées dans plusieurs départements, il a été établi un service spécial d'ingénieurs, qui, au moyen des données transmises par l'Observatoire et des observations locales, donnent la prévision du temps probable pour les divers points du département. Les États du Nord de l'Amérique et les principaux États maritimes de l'Europe ont, peu à peu, établi dans leurs postes ce système d'avertissements météorologiques. En France, où est née la télégraphie météorologique, deux circulaires de 1856 posaient les bases de ce service ; à la suite de la tempête du 2 décembre 1863, cette partie de la télégraphie reçut une large extension. Nos côtes ont été divisées en quatre régions : tous les ports échangent deux fois par jour leurs observations, qui sont communiquées aux ports anglais, et chacun sait ainsi le temps qu'il fait sur les côtes de France et d'Angleterre.

En Angleterre, c'est au contre-amiral Fitzroy qu'on est redevable de l'organisation du service météorologique et de l'annonce quotidienne du temps et des météores dangereux. Le Royaume-Uni a été divisé en six régions, dont quatre en Angleterre, une en Irlande et une en Écosse, et l'on a pu, jusqu'à un certain point, réaliser les conclusions posées par l'amiral Fitzroy. De pareilles organisations se sont formées en Prusse, sous la direction du savant M. Dove, en Italie sous l'influence de Matteucci, en Russie à l'instigation de Struve ; écartant aux vœux du congrès météorologique de Vienne (1873), le gouvernement russe a installé à Saint-Petersbourg un poste central, et fait afficher à la Bourse le bulletin du temps imprimé en sept langues.

Quelques signaux sont d'un usage international ; ils s'obtiennent au moyen d'un cône et d'un cylindre élevés au bout d'un mât. Vent vient du sud, cône à pointe en bas ; vent du nord, cône à pointe relevée ; tempête, cône et cylindre.

La prévision du temps exige la concentration en un même lieu des observations simultanées faites

sur un grand nombre de points de la surface du globe. On y arrive par l'emploi du télégraphe. Les documents envoyés chaque jour des nombreuses stations météorologiques sont réunis dans un bulletin autographique et une carte quotidienne de l'état de l'atmosphère sur l'Europe est jointe à ce bulletin. Ces cartes sont d'un grand secours pour les marins et pour toutes les personnes qui ont intérêt à connaître les probabilités du temps.

Votes des Assemblées. — Le procédé ordinaire par lequel les membres d'une Assemblée expriment leurs votes, la manière dont ces votes sont enregistrés et contrôlés offrent les inconvénients d'une grande lenteur et de nombreuses causes d'erreur. Plusieurs inventeurs ont éladé les moyens de remplacer ce mode imparfait de votation par un procédé automatique qui fût à la fois plus rapide et plus précis. Dès 1819, le colonel Martin de Brettes a proposé un système dans lequel chaque membre votant exprimait son vote en appuyant sur un bouton blanc ou sur un bouton noir fermant un circuit qui aboutissait à un TABLEAU enregistreur; à cet appareil était relié un indicateur autographique et un contrôleur mécanique. Depuis cette époque, plusieurs autres systèmes ont été proposés en France: au Sénat (1860), par M. Saigey, inspecteur des télégraphes; au Corps législatif (1870), par MM. Clérac et Guichenot; à l'Assemblée nationale (1874), par M. Jacquin.

Voici l'explication résumée de ce dernier système: chaque député a devant lui deux boutons transmetteurs placés dans un pupitre fermé à clef; à chaque bouton correspond un petit appareil qui renferme une provision de boules et qui en laisse échapper une lorsqu'on appuie sur le bouton correspondant. Chaque boule a un poids marqué par une unité décimale (10 grammes, par exemple); les boules de même espèce viennent se réunir dans un entonnoir, et on mesure l'augmentation de poids qui donne le nombre des votes.

Un enregistreur électrique permet de pointer les scrutins d'une séance sur un tableau de pointage dans lequel chaque colonne est partagée en trois colonnes plus petites, l'une pour l'épreuve, la seconde pour la contre-épreuve, la troisième pour l'indication des abstentions. A la fin d'un vote, une seule manœuvre de l'appareil fait décharger automatiquement les boules d'abstention et pointer la colonne correspondante pour chaque député abstentionniste.

On a fait plusieurs objections à l'emploi de ces télégraphes; ces appareils comprennent un grand nombre d'organes mécaniques dont quelques-uns peuvent se déranger et dont le prix est assez élevé; mais on doit espérer qu'avec certaines précautions l'organisation d'un télégraphe enregistreur de votes pourrait se faire sans qu'il y eût à craindre de déordre dans la marche des appareils, et l'avantage que l'on retirerait de ce système compenserait amplement les frais d'établissement.

En 1858, M. P. Le Guézou a imaginé un scrutateur électrique fort ingénieux, dont on trouvera la description au mot VOTE (Machines à).

Règlements intérieurs de la télégraphie en France. — (V. ce mot.)

Règlements internationaux de télégraphie électrique. — (V. ce mot.)

Réseaux télégraphiques. — (V. ce mot.)

Administration des télégraphes en France et à l'étranger. — En Angleterre, il

ya des compagnies libres et des télégraphes de l'État. Les compagnies libres sont maîtresses d'adopter les appareils et de fixer les tarifs à leur fantaisie. Dans les grands bureaux le service est fait par des signaleurs. Entre autres compagnies télégraphiques nous signalerons la Compagnie du télégraphe privé universel (*The universal Telegraph Company limited*), grâce à laquelle tout particulier peut, moyennant paiement, transformer son domicile ou tout autre lieu en station télégraphique, où ses amis, etc., peuvent lui expédier directement leurs dépêches.

En Amérique la télégraphie est libre en principe; mais, s'il faut en croire M. Etienand, trois grandes compagnies ont détruit les petites et ont acheté tous les brevets d'appareils.

Le système télégraphique en Russie se compose de quatre catégories: le réseau de l'État, le réseau exploité par les compagnies de chemins de fer, les lignes anglo-indiennes et les lignes exploitées par les particuliers.

En France, le gouvernement et les chemins de fer se partagent le monopole des lignes télégraphiques. Le service des Postes et Télégraphes dépend actuellement (1888) du ministère des Finances, il comporte environ: personnel supérieur et administration centrale 1.847 agents; employés des bureaux 17.399 agents; personnel subalterne 33.220 agents. Dans ces nombres ne sont pas compris les ouvriers ou aides-mécaniciens, 663 facteurs-enfants à Paris, distributeurs de télégrammes, les distributeurs employés par les receveurs des petites bureaux qui assurent sous leur responsabilité le service de la remise des télégrammes à domicile moyennant une indemnité calculée à raison de 0 fr. 10 par télégramme d'arrivée.

La liberté de la télégraphie à certains avantages; mais quelques inconvénients résultent du peu de garanties que présente ce système dans les pays où il est appliqué. Il est certain, du reste, que la seule application du principe du monopole, ou ne procure aucun avantage à la télégraphie et que ce système doit être abandonné; mais il convient d'entourer les relations télégraphiques de toutes les garanties de discrétion et de célérité nécessaires.

TÉLÉGRAPHIE A SIGNAUX AÉRIENS OU OPTIQUES.

Le télégraphe aérien, seul employé jusqu'en 1839, consistait essentiellement en un appareil formé de planches et de liges en bois susceptibles de se mouvoir d'un mouvement rotatif visible à de très grandes distances, au moyen de lunettes et de longues-ues; de cette manière, l'appareil étant amené par un premier opérateur dans une position quelconque, définie d'avance et servant à indiquer une lettre particulière de l'alphabet, un autre opérateur, placé dans un autre poste éloigné de 3 à 10 kilomètres, pouvait observer l'appareil et noter ses indications.

Le système mis en usage sur les différentes lignes du réseau aérien français était celui des frères Chappe, adopté définitivement par la Convention en 1793. Il se composait de trois branches mobiles dans un même plan vertical; une branche principale, nommée régulateur, se mouvait autour d'un tourillon O, fixé en son milieu (fig. 1). Deux petites branches, nommées indicateurs, étaient placées aux deux extrémités A et B du régulateur et pouvaient prendre, par rapport à celui-ci, diverses positions relatives qui, combinées avec les positions propres du régulateur, constituaient les signaux.

Le régulateur était susceptible de quatre positions: l'une verticale, l'autre horizontale et les deux autres

obliques, à gauche et à droite de la verticale. Chacun des indicateurs pouvait occuper trois positions différentes relativement au régulateur. Ils étaient munis de queues en fer *a, b* servant à les équilibrer. Le tout était peint en noir, pour se détacher sur le fond du ciel, et muni au moyen de poulies et de cordes en fil de laiton, actionnées par un petit télégraphe, reproduction exacte du premier, qui était manœuvré directement par le gucteur dans une chambre inférieure. Le mécanisme était disposé de telle façon que le télégraphe placé en plein air, au sommet de la tour, répétait exactement les signaux que faisait le gucteur avec celui qu'il avait sous la main. La chambre du gucteur contenait aussi une lanterne, avec laquelle il pouvait observer les signaux de la station précédente et voir si les siens étaient reproduits convenablement par la station suivante.

Ces appareils rendirent, lors de leur découverte, des services réels. Les dépêches arrivaient de Calais à Paris (68 lieues) en trois minutes, de Lille (60 lieues), en deux minutes, de Strasbourg (120 lieues) en six minutes, de Toulon (207 lieues) en vingt minutes, etc.

Comme conventions et principes réglant la formation des signaux, on avait admis qu'aucun signal ne serait formé sur le régulateur situé dans la position horizontale ou dans la position verticale et que les

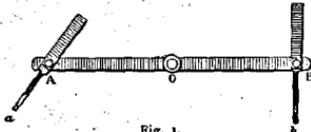


Fig. 1.

signaux formés sur le régulateur incliné seraient seuls valables; ces derniers signaux ne devaient même être écrits et répétés par l'observateur que lorsque, ayant été formés sur l'une des deux obliques, ils avaient ensuite été transportés, tout formés, soit à l'horizontale, soit à la verticale. Les diverses positions que pouvaient prendre le régulateur et les indicateurs donnaient quarante-neuf signaux différents, mais chaque signal pouvait prendre une valeur double, suivant qu'on le remettait à l'horizontale ou à la verticale, et même une valeur quadruple, suivant qu'on le ramenait à l'une de ces positions, en parlant de l'oblique de droite ou en parlant de l'oblique de gauche. Les signaux formés sur l'oblique de droite servaient seuls à la composition des dépêches, les autres étaient réservés à la police de la ligne et servaient à composer les avis à donner aux employés des différents postes.

Le télégraphe de Chappe était soumis à tous les inconvénients qui tiennent à la non-transparence régulière ou accidentelle de l'atmosphère. Il ne pouvait fonctionner pendant la nuit et ne rendait aucun service pendant les temps de brouillards, ceux-ci interrompant aussitôt la transmission des dépêches. Dans les pays septentrionaux, les brumes particulières à ces climats rendant très difficile l'observation des signaux allongés, on a préféré, en Angleterre et en Suède, se servir de volets mobiles.

Le télégraphe suédois, dû à l'invention de M. Enderlantz, se composait d'un grand cadre à trois rangs de volets, dont chacun était fixé sur un axe mobile, dans des trous pratiqués dans le cadre; chaque volet pouvait prendre une position verticale ou horizontale,

suivant le mouvement de ces axes, et le cadre formait ainsi mille vingt-quatre signaux, suffisant à besoins de la correspondance. Le télégraphe suédois fut essayé en 1791 et appliqué en 1796. A cet époque, un télégraphe du même genre, mais plus imparfait, fut adopté en Angleterre, sans donner de résultats vraiment avantageux.

Le système de Chappe reçut des applications plus ou moins rapides en Allemagne et en Égypte. De ce dernier pays, l'ingénieur Abro présida à l'établissement d'une ligne réunissant le Caïre à Alexandrie, qui donna bientôt d'excellents résultats.

Un employé de Chappe, nommé Chateau, deslité en 1830, parvint en 1832 à faire adopter par l'empereur de Russie un système très analogue à celui de Chappe, mais offrant sur celui-ci une certaine supériorité, due à quelques perfectionnements, notamment une grande diminution dans le nombre des signaux. Une ligne de cent quarante-huit postes fut établie par ce Français entre Saint-Petersbourg et Varsovie et a fonctionné militairement depuis 1838.

Le gouvernement français a fait fonctionner pendant quinze ans en Algérie, sous la direction de M. César Lair, un système perfectionné par cet ingénieur, sur les modèles de Chappe, et qui a rendu de grands services jusqu'à l'adoption en Algérie (1859) de la télégraphie électrique.

Télégraphie optique des navires. — A la suite de télégraphie aérien se place naturellement l'étude de moyens employés par les navires pour correspondre entre eux et par les ports pour correspondre avec les navires. Depuis longtemps, la tactique navale a su utiliser les signaux aériens au moyen de drapeaux et de pavillons, pour la transmission des ordres envoyés d'un navire à l'autre. La vraie application de la télégraphie en mer est la correspondance, au moyen de signes rapides, entre deux bâtiments étrangers l'un à l'autre, à quelque nation qu'ils appartiennent. C'est une sorte de langue universelle, parlant aux yeux, et dans laquelle chaque signe traduit dans toutes les langues usuelles offre le même sens. L'utilité d'un pareil système de signaux maritimes a frappé de nombreux esprits, au concours desquels on doit aujourd'hui que chaque bateau puisse posséder un vocabulaire universel, contenant toutes les phrases répondant aux besoins possibles, avec l'indication des signaux à faire pour transmettre ces phrases.

Le capitaine Maryatt avait établi un code de signaux maritimes, où toutes les phrases correspondaient à des nombres, et ces nombres étaient indiqués par le jeu de dix pavillons de couleurs différentes. On excluait les combinaisons contenant deux fois le même chiffre, ce qui, avec quatre pavillons, permettait de faire 5.360 combinaisons. Le vocabulaire contenait la liste des bâtiments anglais et étrangers, des noms géographiques importants, des phrases usuelles, des mots utiles pour la formation d'autres phrases. Ce répertoire était fort insuffisant; il a été modifié et complété, mais on ne doit reconnaître au capitaine Maryatt tout le mérite de la première application pratique.

Un capitaine français, M. Reynold de Chauvancy, fit à son tour un vocabulaire; il n'employait comme signaux que trois objets de formes différentes: un pavillon, une flamme, un objet opaque, pour représenter 18.000 mots. Ce code télégraphique de la marine fut officiellement adopté en France et rendu obligatoire pour tous les navires et bateaux pilotés en 1855. Des conventions furent faites avec les pays étrangers, et le code Reynold fut traduit en plusieurs langues. Cependant, en 1863, les prescriptions de

L'Amirauté furent abrogées dans un nouveau décret; mais, comme le besoin d'un code international se faisait sentir, le gouvernement français et l'Amirauté anglaise s'entendirent, et, en 1865, on imprima un nouveau code français, qui a été à son tour adopté par les gouvernements anglais et français. Le système actuel consiste dans l'emploi de près de 8.000 mots, combinaisons d'un nombre de consonnes au plus égal à quatre, signalées par des pavillons de couleurs spéciales. On n'a pas employé de pavillon pour la lettre Z, ce qui aurait permis d'augmenter considérablement le nombre des signaux, parce que les 8.000 mots employés ont été reconnus parfaitement suffisants. Le code anglo-français comprend un dictionnaire des mots et une liste des navires. Quand on se trouve à trop grande distance, les signaux Reynolds sont employés. Chaque navire peut, de cette manière, correspondre avec un point quelconque du continent, par le moyen des sémaphores qui sont reliés au réseau télégraphique de l'intérieur des terres.

Mais ce système de télégraphie ne peut être appliqué que pendant le jour. Aussi M. de Méritens a-t-il proposé pour correspondre pendant la nuit un système de télégraphie optique. Voici la description qu'il en a donné à la *Société internationale des Electriciens*.

« Dans presque tous les pays, excepté en France, les navires correspondent entre eux pendant la nuit à l'aide d'une espèce de télégraphie optique par brèves et longues. Un fanal aussi puissant que possible est allumé sur une vergue à bord du navire. Ce fanal est pourvu d'un écran mobile manœuvré au moyen d'une corde. On peut ainsi rendre la lumière visible pendant un temps plus ou moins long et transmettre des signaux suivant un alphabet analogue à celui du Morse. Mais ce système laisse place à des erreurs d'interprétation; aussi dans la marine française on a adopté un autre mode de correspondance. On hisse presque parallèlement à la mâture, le long d'une vergue, dix petits fanaux. Les cinq fanaux supérieurs sont séparés, dans la verticale, par un certain intervalle, des cinq fanaux inférieurs. Suivant que 1, 2, 3, 4 ou 5 des fanaux supérieurs sont allumés en même temps que 1, 2, 3, 4 ou 5 des fanaux de la série inférieure, une convention arrêtée à l'avance, indique la signification du signal fait. Ce signal peut être permanent et il est facile à contrôler, mais il n'est pas non plus à l'abri d'une erreur ou d'un malentendu. On peut éviter ces erreurs et les nombreux inconvénients que présentent les systèmes précédents par l'emploi de l'électricité.

« Les signaux se font avec des LAMPES électriques: si on veut produire un signal avec dix lampes il faut avoir un courant de quantité; si, au contraire, on veut opérer par brèves et longues avec une seule lampe plus puissante que chacune des dix prise isolément, il faut avoir un courant de tension. L'appareil manipulateur doit être combiné de façon que le signal puisse être préparé, en entier, avant l'allumage, exécuté ensuite, et disparaître complètement après qu'il a été vu, afin d'éviter toute perte de temps et toute erreur provenant de l'extinction d'un foyer isolé. Le courant électrique est produit par une MACHINE magnéto-électrique de Méritens à un seul ANNEAU et portant sur sa partie mobile un plateau permutoleur. A l'aide de huit bouchons à vis placés sur ce plateau on peut recueillir les courants soit en quantité, soit en tension, à volonté. La machine est mise en mouvement à l'aide de deux manivelles manœuvrées par quatre hommes; elle tourne à une vitesse de 600 tours par minute. Le manipulateur, appelé par M. de Méritens *commutateur à touches*, porte à sa partie supérieure douze bornes. Dix de ces bornes amènent

les courants à autant de lampes à incandescence placées dans les fanaux, les deux autres servent à l'entrée et à la sortie du courant dans l'appareil. A la partie inférieure sont douze boutons mobiles; les dix du milieu servent à faire passer le courant dans les lampes; ils sont divisés en deux séries de cinq correspondant aux deux séries de lampes. Pour préparer le signal on presse sur ceux que l'on désire; et on allume ensuite les lampes qui correspondent aux boutons pressés, en appuyant sur le dernier bouton situé à droite de l'appareil. Les lampes choisies sont toutes instantanément allumées. Celles qui ne sont pas allumées sont remplacées, dans l'appareil, par une bobine de résistance exactement égale à celle de la lampe. Pour éteindre les lampes il suffit de presser le bouton extrême de gauche.

« L'essai de ces appareils a été fait pendant l'année 1882. Après vingt mois d'expérience, le système a été adopté par la marine française. »

Télégraphie optique militaire. — La télégraphie optique est aujourd'hui entrée dans la pratique courante pour les communications à établir entre les corps d'armée en campagne, entre ces corps et les forts, entre les forts et les différents postes d'observation.

Rappelons qu'en 1875 un employé des télégraphes français, M. Leard, proposa un système de télégraphie optique qui fut essayé à Alger. Il prenait le ciel comme un écran sur lequel se lisaient les caractères Morse; on se servait de rayons de lumière électrique produite par 50 couples Bunsen. La manipulation se faisait avec un simple obturateur, un disque en bois muni d'une queue, avec lequel on volait plus ou moins de temps la gerbe émise sous un angle de 40° à 45°, ce qui figurait les traits et les points du Morse. Les dépêches pouvaient être transmises même sur un ciel éclairé par la lune, à une distance de 10 ou 15 lieues. Susceptible de servir entre deux postes séparés par des obstacles quelconques, ce système permettait à deux corps d'armée de correspondre la nuit à l'aide d'une cryptographie quelconque dans l'alphabet Morse. M. Leard n'a songé à le faire appliquer que dans la télégraphie navale.

Les appareils qui servent aujourd'hui aux transmissions optiques comprennent généralement, renfermés dans une boîte à un objectif d'émission, au foyer principal duquel se trouve la source lumineuse, un manipulateur et une lunette réceptrice. Un petit écran, commandé par le manipulateur, intercepte les rayons de la source lumineuse; ils sont lancés et dirigés dans l'espace lorsque l'écran est déplacé par le jeu du manipulateur. Ces rayons sont reçus par le poste optique correspondant. On réalise ainsi en rayons lumineux, suivant la durée d'émission brève ou longue, les signaux conventionnels du genre Morse (v. ALPHABET). La correspondance terminée, un verrou maintient le manipulateur, et par suite l'écran, dans la position du feu fixe ou rayon continu dans l'espace.

Il est évident que cette transmission est fort simple et offre de grands avantages, mais elle a l'inconvénient de ne laisser aucune trace matérielle, automatique, des dépêches transmises ou reçues. L'importance qu'il y aurait à conserver la trace matérielle des signaux optiques avait été signalée à l'Académie des Sciences, par le général Perrier en 1873, lorsqu'il contestait le télégraphe optique du colonel Lous-sedat; on fit divers essais d'application du Morse électrique ordinaire, mais qui ne donnèrent pas les résultats pratiques qu'on en attendait.

M. Ducretet est parvenu à résoudre le problème par des moyens entièrement mécaniques et automa-

lignes. Son appareil peut être aisément appliqué aux grands projecteurs électriques et aux appareils optiques militaires des postes fixes; aussi en donnons-nous une rapide description. L'émission et l'inscription des signaux se fait automatiquement, ce qui assure la sécurité et le contrôle des dépêches transmises et reçues, puisque chaque poste doit répéter celles qu'il a

reçues de son correspondant optique, et qu'au repos ou dans la position du feu fixe, aucune dépêche ne peut être reçue ni transmise. Voici comment on obtient ce résultat : « La pédale manipulateur P (fig. 2 et 3) agit par l'intermédiaire d'une lige articulée sur un système de leviers combinés pour produire automatiquement le déclenchement d'un rouage et le déroulement de la

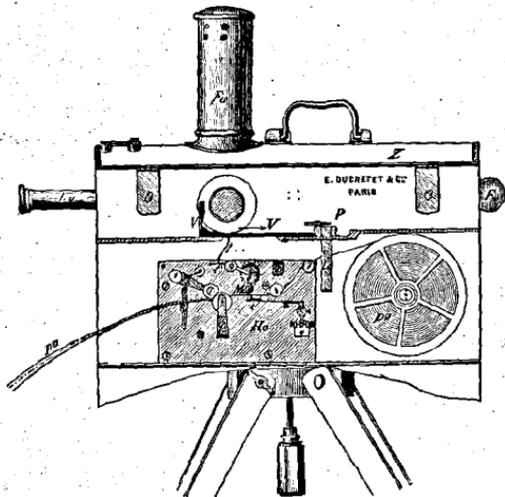


Fig. 2. — Vue en élévation.

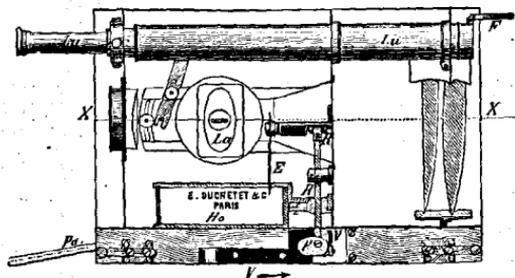


Fig. 3. — Vue en plan.

bande de papier; en même temps elle produit l'impression du signal, bref ou long, et l'ouverture d'émission du rayon lumineux. Tous ces organes sont solidaires; ils sont commandés automatiquement, d'un seul coup, par le jeu d'une seule pièce en forme de verrou V, produisant rapidement la mise en marche ou l'arrêt.

Au repos, l'appareil est toujours dans la position du feu fixe; le verrou V est alors poussé à fond et, dans le même temps, il enraye le rouage H et la pédale manipulateur P; en même temps aussi, par le

passage de la tige l sur l' , le tampon ancreur s'éloigne de la molette imprimeur. Pendant toute la durée du feu fixe ou du repos, l'encre du tampon ne peut s'écouler sur la molette et, par suite, sur le papier. Dans cette position du feu fixe, la manipulation est rendue rigoureusement impossible.

Au signal convenu entre les deux postes optiques en station, on tire le verrou V; comme dans le premier cas, ce seul mouvement supprime automatiquement le feu fixe, l'écran E (fig. 3 et 4) intercepte alors l'ouverture d'émission XX des rayons de la

source lumineuse; dans le même temps, le rouage est dégagé, il laisse défiler la bande de papier; la pédale P est rendue libre et le tampon encruse se met en contact avec la molette Mo. Tous les mouvements, brefs ou longs, communiqués à la pédale P et, par suite, à l'écran E, sont alors imprimés sur la bande de papier sans fin. Le télégramme optique terminé, on pousse le verrou V et tout rentre dans la position première: feu fixe, ou repos.

La fig. 4 montre l'appareil dans la position de repos ou du feu fixe, l'écran E laissant libre l'ouverture d'émission du rayon lumineux X. Elle montre encore l'action du verrou V sur tous les organes de mise en marche ou d'arrêt et sur la pédale-manipulateur P.

En somme, aux deux postes départ et arrivée, tout se réduit donc, sans préoccupation ni préparation, à un seul mouvement pour l'arrêt ou la mise en

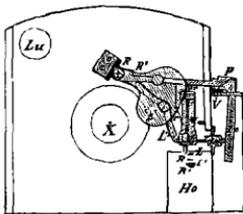


Fig. 4.

marche. Tout le système est à l'abri; la bande de papier seule est visible dans la partie imprimée, donnant exactement ce qui a été lancé dans l'espace. Ce télégramme peut être ensuite détaché de l'appareil, après avoir été signé et daté par le poste des télégraphistes, et mis en lieu sûr. (*Revue Industrielle.*)

Spectro-télégraphie. — M. Paul La Cour a imaginé un système de télégraphie optique auquel il donne le nom de **spectro-télégraphie** et qui repose sur le principe suivant : « Dans le champ d'une lunette ordinaire pourvue d'un prisme réfringent, une source lumineuse blanche assez éloignée donne un spectre sous forme de bande colorée uniformément du rouge au violet. Mais si, à la station de transmission, on peut intercepter certains rayons lumineux déterminés, le spectre qui arrive à l'observateur est incomplet et certains rayons manquent. On peut arriver naturellement à obtenir dans le champ de la lunette une bande de spectre dont les parties lumineuses représentent un signal télégraphique Morse déterminé. »

Un observateur placé à la station de réception et regardant dans la lunette spectro-télégraphique verra défilier la dépêche dans le champ de cette lunette, d'un côté et sortant de l'autre. Chaque signal change de couleur pendant son passage; mais, comme il conserve sa forme, le changement de couleur ne produit aucune confusion et on lit une dépêche de ce genre avec autant de facilité que sur une bande de papier.

M. La Cour signale les applications suivantes de sa méthode : « Le système international des signaux maritimes au moyen de drapeaux qui ne peut fonctionner que le jour pourra servir également la nuit, grâce à un nouvel appareil qui sera pour le moins

aussi facile à manœuvrer, et qui possède certains avantages sur les drapeaux, car la visibilité des signaux ne diminue pas avec la distance, puisque la longueur du spectre dépend uniquement de la lunette de réception. Les signaux sont encore indépendants de la direction du vent. En portant une bande comme pour un transmetteur automatique Wheatstone, on peut télégraphier très rapidement. On pourra donner à chaque phare un signal spécial de ce genre, etc. »

TÉLÉGRAPHIE COMMERCIALE.

(*Exchange Telegraph.*)

La rapidité des relations financières entre les grandes maisons de commerce peut avoir une grande influence sur les opérations commerciales; la communication des cours de la Bourse d'une grande ville telle que Londres ou Paris, l'annonce immédiate d'un événement politique ou militaire peuvent modifier le mouvement général des affaires; les pays où le commerce subit le plus fortement ces actions, tels que l'Angleterre et les États-Unis, ont établi dans les villes les plus importantes des réseaux de fils télégraphiques privés ou dépendant de compagnies spéciales et destinés à l'usage des particuliers. La transmission des cours de la Bourse se fait ainsi avec une grande rapidité aux établissements publics ou à ceux qui en ont fait la demande et ont contribué pour un capital convenable à l'établissement du service télégraphique.

Un concours eut lieu dans le même but en 1874 à Paris, et un arrêté ministériel autorisa M. de Piocetto à établir et exploiter le réseau destiné à cette transmission, moyennant le paiement à l'État d'une redevance annuelle de 250 francs par appareil transmetteur et de 345 francs par récepteur. Les conditions de l'abonnement, y compris les frais d'entretien et la redevance à l'État, avaient été fixées à 1,825 francs. Cette organisation a fonctionné pendant environ dix ans; elle a cessé en 1883, l'administration ayant refusé de renouveler l'autorisation du contrat aux mêmes conditions.

Aux États-Unis la télégraphie commerciale a pris une très grande extension. Il existe dans presque toutes les villes importantes de grandes compagnies qui s'occupent uniquement de la transmission de ces sortes de dépêches et dont les bureaux centraux sont reliés directement aux bureaux des divers banquiers, courtiers ou commerçants.

On a employé d'abord deux sortes d'appareils imprimeurs. Le premier système, très répandu avant l'année 1870, comprenait une seule rose des types; l'impression se faisait sur une longue bande de papier et sur une seule ligne indiquant les symboles des valeurs et leur cote. Exemple :

C. S. 55 3/8.

Mais, ce système n'indiquant pas assez clairement les diverses fluctuations du marché, on s'est servi d'appareils donnant une impression sur deux lignes, comme, par exemple :

D L	O T
1264/2	263/3.

Enfin, ce modèle perfectionné ne répond pas à tous les besoins. Pendant une séance un peu mouvementée de la Bourse, des centaines de mètres de bande se déroulent dans chaque bureau et, après une heure ou deux il est fort difficile d'examiner tous les cours cotés. Pour remédier à cet inconvénient, un employé spécial était chargé de reporter à mesure les valeurs sur

un tableau noir divisé en colonnes correspondant aux diverses valeurs. Cette méthode a été rapidement adoptée dans les bureaux de beaucoup de courtiers; mais elle a pour inconvénients d'exiger beaucoup de place, d'occuper un employé spécial, de ne laisser aucune trace du travail de la journée, puisqu'il faut effacer chaque jour du tableau les indications de la veille.

M. Wiley, de Brooklyn, a imaginé un appareil complètement automatique donnant d'aussi bons résultats que le tableau. En voici la description, empruntée à un article publié par M. Wetzel dans la *Lumière électrique*, t. XXVII, n° 6, 1888 :

« L'appareil de M. Wiley se compose d'une série de roues des types montées sur un arbre commun; chaque roue est affectée à l'impression des prix d'une valeur spéciale, l'impression se fait sur une large bande ou feuille de papier sur laquelle les cours apparaissent en colonnes juxtaposées avec les noms des valeurs en tête; celles-ci sont inscrites sur un tableau fixe. Les roues sont toutes calées sur leur arbre, mis en rotation par un ressort ou un poids et contrôlé par un transmetteur quelconque. Les types des roues sont appuyés contre les feuilles de papier par une série de leviers imprimeurs actionnés par une série d'électro-aimants disposés sur le même circuit et commandés par le transmetteur; leur action est réglée par une série de disques, un pour chaque levier, qui sont montés sur un arbre parallèle à celui des roues des types et commandés par un échappement sous l'influence du transmetteur. Les disques sont tous munis d'une encoche disposée sur chacun d'eux de manière à former une rainure continue en spirale. Les leviers imprimeurs portent par leur extrémité sur ces disques et, par suite, ne produisent l'impression que lorsque l'encoche correspondante arrive au point de contact. Ainsi il ne peut être fait qu'une seule impression à la fois, bien que tous les électro-aimants soient excités simultanément. L'avance du papier a lieu par l'action d'un échappement réglé par un électro-aimant polarisé qui peut être actionné à tout moment par un faible courant inversé envoyé sur la ligne contrôlée par l'un des transmetteurs. Le papier est disposé sur un rouleau, il est maintenu entre deux cylindres. L'extrémité libre du papier est tenue par le tableau, sur lequel les noms des valeurs sont placés de manière à pouvoir être changés à volonté, de sorte que quand il n'y a pas de transaction sur une valeur on puisse la remplacer par une autre. Le tableau renferme autant de colonnes qu'il y a de roues des types, de sorte qu'en cherchant une valeur quelconque, on n'a qu'à regarder le nom en tête du tableau, et les fluctuations du prix se trouvent directement au-dessous. Pour faciliter les recherches, les colonnes sont imprimées alternativement en rouge et en noir. Enfin, deux colonnes, au milieu du tableau, sont réservées pour les prix des valeurs sur lesquelles il n'y a que de rares transactions et auxquelles correspondent une roue spéciale, portant d'un côté les symboles des valeurs, et de l'autre, les chiffres. Il est évident qu'on n'est pas obligé de faire imprimer chaque fois les chiffres complets; il n'y a qu'à indiquer les petites variations, tant que la partie principale du prix ne change pas. On accroit ainsi la rapidité des indications. »

Nous devons ajouter que les systèmes télégraphiques destinés aux correspondances commerciales ont été remplacés dans beaucoup de cas par les systèmes téléphoniques. (V. TÉLÉPHONE.)

Le service télégraphique spécial à la presse et aux courses doit être considéré également comme un service essentiellement commercial.

Les Offices de publicité des différents pays globe font un usage assez fréquent de la télégraphie pour avoir été conduits à s'abonner à des compagnies télégraphiques; une convention a été faite et le gouvernement français et la compagnie du télégraphe sous-marin reliant la France à l'Angleterre. Les fils télégraphiques libres la nuit entre Londres et Paris peuvent être loués aux Offices de public moyennant redevance annuelle, de neuf heures soir à six heures du matin, pour une durée de six ou neuf heures. Le Trésor français et la compagnie se partagent par moitié les redevances, sont de 50.000 francs pour trois heures, 75.000 francs pour six heures et 100.000 francs pour neuf heures.

Des fils télégraphiques ont été établis dans les ceintures des champs de course, en Angleterre depuis 1870, en France depuis 1874. En Angleterre, le Derby avait produit 1.600 dépêches la première année, il en a été envoyé 4.500 en 1875 entre le Derby et celui du Grand Stairad, qui s'échange près de 14.000 dépêches durant les jours du meeting. En France, un bureau installé à la pesage du champ de course de Longchamps a été mis en communication avec Paris. Versailles-Londres; malgré les restrictions résultant de la location du bureau dans l'enceinte réservée, il a transmis 115 dépêches en 1874 et 192 en 1875, de plus la grande partie était à destination de l'Angleterre.

TÉLÉGRAPHIE DES CHEMINS DE FER.

La rapidité de marche des trains de chemins de fer commandait, s'il était possible, une rapidité grande encore dans les signaux destinés à annoncer l'arrivée, le départ, les évolutions prévues accidentelles. Le télégraphe a pu de la sorte donner de grandes facilités à l'exploitation et assurer un emploi économique du matériel et de la voie. Les services de chemins de fer exigent au moins deux fils, l'un desservant les grandes gares, l'autre réunissant toutes les stations.

Le premier de ces fils est désigné sous le nom de *FIL DIRECT*, le deuxième sous le nom de *FIL COMPLET*. Sur les grandes lignes il existe souvent un troisième fil appelé *SEMI-DIRECT* qui relie des stations de moindre importance.

Le télégraphe sert à faire connaître les retards trains, quand ces retards dépassent une certaine limite, et dispense d'envoyer une locomotive à l'avant du train sur la seconde voie; avant l'application du télégraphe, au bout d'un retard déterminé toutes les locomotives de secours des stations non situées par le train devaient se mettre en mouvement sur le télégraphe, indiquant entre quelles stations l'arrêt, évite cet inconvénient; l'inquiétude pour les voyageurs disparaît, grâce au télégraphe, de l'esprit du public et de celui des employés.

Mais l'emploi vraiment utile du télégraphe des chemins de fer à double voie consiste dans l'avertissement reçu à tout instant des besoins du service. L'exploitation est ainsi régularisée.

Pour les chemins de fer à voie unique, les conditions de secours et de danger prennent une grande importance; on peut faire garer les trains sans contraire à un train arrêté ou en retard; on remplace des chemins de cette espèce on a l'habitude au départ de chaque station, de prévenir la station suivante, qui tient la voie libre jusqu'à l'arrivée du train annoncé.

Dans les grandes stations, des agents spéciaux dans les petites stations, les agents ordinaires.

préposés au service du télégraphe ; l'organisation de ce service spécial de télégraphie a donc rendu de grands services. L'emploi des cadrans Bréguet, autrefois en service, occasionnait quelques erreurs, l'appareil ne conservant aucune trace des dépêches.

Pour obvier à cet inconvénient, les Compagnies de chemins de fer ont presque complètement transformé leurs premiers appareils télégraphiques. L'adoption du Morse s'est généralisée parce que cet appareil présente sur l'ancien télégraphe à cadran l'immense avantage de conserver la trace écrite des dépêches transmises et de déterminer ainsi la responsabilité de tous les agents de l'exploitation. Parmi les Compagnies françaises, celles du Nord et de l'Est ont été les premières à adopter le télégraphe Morse dans toutes leurs gares et stations.

En Amérique le télégraphe ne sert pas seulement à aviser les gares de tous les faits intéressant la marche des trains, mais à régler le mouvement de ces trains. Un agent spécial, appelé *dispatcher*, dont le bureau est placé dans la gare la plus importante de la section qui lui est confiée (cette section varie entre 100 et 200 kilomètres et comprend 20 à 30 gares), est renseigné télégraphiquement sur la situation de chacun des trains qui parcourent sa section ; il est exclusivement chargé du soin de leur donner des ordres, soit au départ, soit par l'intermédiaire des gares traversées, etc. C'est lui qui lance les trains, les arrête, les fait croiser, les gare, etc. Toutes les modifications qu'il peut y avoir lieu de décider accidentellement sont ordonnées par lui, de son bureau. Il importe de remarquer que les trains ayant leur marche tracée à l'avance sont en fort petit nombre ; les autres passent comme ils peuvent. Cette organisation exige l'échange d'un nombre considérable de dépêches qui seraient impossibles à envoyer si, comme sur le réseau français, chaque gare où le fil est interrompu avait à recevoir et à faire le passage. D'autre part, toutes les gares doivent toujours rester sur communication. A cet effet on emploie des appareils télégraphiques permettant aux gares de recevoir en même temps toutes les dépêches qui circulent sur le fil affecté spécialement au mouvement des trains d'un bout à l'autre de la section ; mais ces gares ne les lisent et ne les transcrivent que quand la dépêche est envoyée par le dispatcher et qu'elle les concerne. Afin qu'elles en soient dûment prevenues, le dispatcher, avant de télégraphier un ordre à une gare, appelle le nom de cette gare ; celle-ci annonce qu'elle a compris l'appel en lui renvoyant le nom ; après quoi la dépêche est lancée.

La modification à apporter aux appareils télégraphiques pour atteindre le but indiqué plus haut est fort simple. (V. MONTAGE.)

Postes télégraphiques mobiles ou de secours. — Lorsqu'un train se trouve en détresse à une distance assez grande des postes télégraphiques les plus voisins, le temps nécessaire pour la demande de secours est long, et on a cherché à munir les trains d'appareils spéciaux permettant d'établir instantanément la communication. Les premiers appareils de ce genre se composaient de manipulateurs et de récepteurs à cadran renfermés dans une boîte de petites dimensions. La communication s'établit, d'une part avec le sol, de l'autre avec la ligne, par l'intermédiaire d'une lige métallique.

La fig. 5 donne la vue d'un poste portatif construit par la maison Bréguet et comprenant un récepteur, un manipulateur à cadran et une pile.

Mais les compagnies françaises ont abandonné ce

système, hormis cependant celle du Midi, qui a posé le long de ses lignes un fil spécialement destiné à l'usage des postes portatifs de secours.

A la Compagnie du Nord des postes de secours sont placés sur la voie de distance en distance, et installés dans des gârettes d'aiguilleurs, de gardes-barrières, etc. Des flèches peintes sur les poteaux télégraphiques indiquent la direction dans laquelle les agents doivent se porter pour se rendre au poste de secours le plus proche.

M. G. Dumont, Inspecteur principal, chargé du service télégraphique de la Compagnie des chemins de

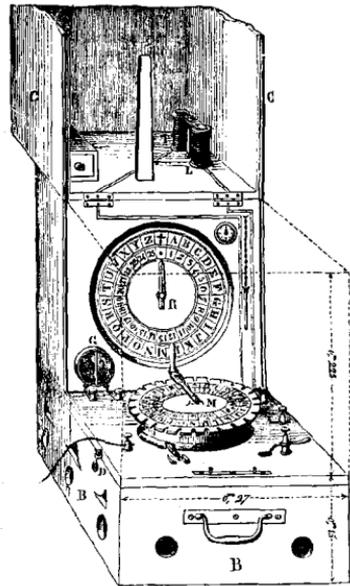


Fig. 5. — Poste portatif Bréguet.

fer de l'Est, et M. E. Cabarel, contrôleur principal de ce service, ont imaginé un poste télégraphique Morse portatif, qui a été adopté par la compagnie et qui est disposé en vue d'une installation pour ainsi dire instantanée, par exemple pour l'organisation d'un service temporaire dans une section ordinairement dépourvue de télégraphie, pour l'exploitation provisoire d'une halastière, pour le sectionnement momentané d'une ligne à voie unique sur laquelle on aurait à assurer une circulation extraordinaire, etc. Dans toutes ces circonstances l'emploi des postes télégraphiques ordinaires ne permet pas de satisfaire avec toute la promptitude désirable à des demandes urgentes ; il faut, en effet, expédier sur les points indiqués une table de dimensions toujours assez considérables, les appareils composant le poste, les éléments de pile ;

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

le sol et un manipulateur M, et qu'on eût en B un récepteur R communiquant d'une part avec la ligne, de l'autre avec la terre (fig. 1). Mais le même fil sert ordinairement pour la transmission dans les deux sens, de telle sorte que les deux stations doivent être pourvues chacune

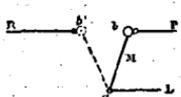


Fig. 1.

être pourvues chacune d'un récepteur en communication avec la ligne quand on reçoit, et d'un manipulateur, destiné à envoyer le courant quand on veut transmettre. Le manipulateur doit donc faire communiquer à volonté le fil de la ligne avec un des pôles de la pile ou avec le récepteur. Dans ce but, on le compose en général d'une tige *ab* mobile autour d'un axe *a*, qui la réunit à la ligne L, et pouvant relier celle-ci à la pile P dans la position *ab* et au récepteur R dans la position *ab'*. On donne encore souvent aux manipulateurs la forme d'un levier métallique AB mobile autour d'un axe O, par lequel il communique avec la ligne L; l'extrémité A peut être reliée au récepteur R par contact en C, et l'extrémité B peut être reliée à la pile P par contact en D (fig. 2).

Lorsqu'on veut que les deux stations puissent accuser les signaux envoyés par cette station en même temps que ceux du poste correspondant, on place le récepteur entre la tige mobile du manipulateur et la ligne : le manipulateur correspond au sol pour la réception et à la pile pour l'émission des signaux.



Fig. 2.

Chaque des propriétés du courant pourrait donner lieu à un appareil spécial; on utilise le plus souvent soit l'action sur une aiguille aimantée, soit l'aimantation du fer doux, soit la décomposition des sels sous l'influence du courant.

Une aiguille aimantée entourée d'un cadre sur lequel s'enroule le fil conducteur sera déviée par le courant, et le sens de la déviation dépendra du sens de ce courant : les signaux se distingueront d'après le nombre et le sens des déviations de l'aiguille.

Un grand nombre d'appareils sont fondés sur le principe de l'aimantation du fer doux : un électro-aimant est enveloppé par les circonvolutions du fil conducteur; lorsque le courant passe, l'électro-aimant s'aimante et peut attirer une petite palette en fer doux, placée à l'extrémité d'une tige mobile autour d'un axe fixe passant par l'un de ses points; cette palette n'est plus attirée lorsque le courant cesse de passer, et elle est alors ramenée par l'action d'un ressort antagoniste à une position déterminée par la présence d'un butoir qui limite la course de la tige à palette. À l'autre extrémité de cette tige peut se trouver un marteau frappant sur un timbre, et l'on aura un télégraphe électro-acoustique; un crayon traçant des traits sur une bande de papier déroulée par un mouvement d'horlogerie, et l'on aura un télégraphe écrivant; ou une tige agissant sur une série de transmissions mécaniques destinées à transformer en un mouvement quelconque, tel qu'une rotation, le mouvement alternatif de la tige à palette, et l'on aura un appareil inducteur d'une espèce quelconque.

Si deux fils reliés aux pôles d'une pile plongent dans une dissolution saline, il se produit une décomposition : quand l'électrode positive est atta-

quable par l'acide dégagé, un sel se forme, sel est insoluble, il se dépose. Supposons qu'on plonge dans une dissolution les électrodes positifs sur les deux côtés d'une feuille de papier imprégnée de la dissolution saline, à chaque du courant le point touché par l'électrode recevra un dépôt de sel insoluble. Si cette feuille est colorée et si le papier se déroule entre les électrodes, le papier ne recevra de coloration points correspondant au circuit fermé, et l'appareil à récepteur électro-chimique.

Appareils secondaires. — Indépendamment de la ligne ou circuit et des appareils à la transmission et à la réception proprement manipulateur et récepteur, tout poste télégraphique doit être muni d'un assez grand nombre d'appareils importants, qui sont :

1° Des commutateurs. — Les commutateurs des instruments qui permettent de changer les communications entre plusieurs commutateurs les plus simples sont commutateurs alternatifs, et à volonté, un fil avec d'autres; ils permettent aussi de croiser les communications d'un nombre quelconque de fils.

2° Des boussoles. — Tous les postes télégraphiques sont munis de boussoles ou appareils géométriques, qui servent à indiquer le pas de courant et qui n'ont, par conséquent, pas d'une grande précision (v. GALVANOMÈTRE); ces appareils, on doit avoir dans les postes près des boussoles destinées aux expériences qu'il a à faire, soit en cas de dérangement, à étudier l'état des fils, l'intensité du courant résistance de la ligne.

3° Des relais. — Le courant électrique obtenant d'une pile déterminée a une intensité tant moins grande en un point du circuit point est plus éloigné de la pile, et d'autre part l'élément des fils n'est jamais obtenu que d'une imparfaite. Il faut cependant être en possession d'une force suffisante à l'extrémité pour mettre en mouvement les organes de réception. Les relais sont des appareils qui, en réduisant l'action du courant au bout de la ligne à la mise en mouvement d'une armature, ferment le courant d'une pile qui met elle-même en mouvement les organes du récepteur.

4° Des paratonnerres. — L'électricité atmosphérique produite sur les fils des lignes est accrue de fluide qui, en se déchargeant dans les nuages, peut occasionner des accidents très graves. Les dégâts qui en résultent par l'installation d'appareils spéciaux portant le nom de paratonnerres ont pour mission de permettre la décharge d'un courant électrique trop violent dans le sol, tout en passant dans les organes télégraphiques à l'ordinaire.

5° Des appareils producteurs du courant sont généralement des piles installées dans des locaux. Nous parlerons aussi des essais faits pour situer aux piles des machines dynamo-électriques dans les postes très importants.

a) *Emploi des piles.* — Dans une pile plique, il faut considérer la force électromotrice, la résistance, la composition des éléments. Les piles à courant variable, pile de Wou pile à auges et sable, pile à amalgame, peuvent être utilisées à la transmission télégraphique, en général, n'exige pas un courant con-

constant; dans les bureaux où le travail est très actif, on préfère les piles à courant constant.

La pile Daniell a été très employée en France, puis à peu près abandonnée à cause de l'instabilité de son entretien. On a modifié cette pile pour la rendre plus commode, et des perfectionnements y ont été successivement apportés par MM. Siemens, Minotto et Callaud.

Dans un grand nombre de bureaux où la pile doit être confiée à un agent spécial à cause de son importance, on a employé la pile à sulfate de mercure de Marié Davy; mais elle a été remplacée par la pile Callaud, dont le courant est plus constant.

On a renoncé en France à la pile Bunsen, malgré son énergie, à cause des vapeurs nitreuses qu'elle dégage et de la difficulté d'entretenir; on l'emploie encore en Amérique, surtout comme pile locale, avec certaines modifications; elle porte alors le nom de "pile Vergnes".

En France, l'emploi de la pile Leclanché est maintenant général, surtout dans les postes télégraphiques des chemins de fer et dans les postes peu importants de l'Administration. (V. PILE.)

Une même pile peut servir à transmettre dans plusieurs directions, même lorsque la transmission est simultanée. A cet effet, on fait communiquer tous les manipulateurs avec le même pôle, l'autre pôle communiquant avec la terre.

Dans son cours de télégraphie électrique à l'École des ponts et chaussées, M. Amiot détermine quelles sont les conditions à remplir pour que cette simplification puisse être admise.

Supposons, dit-il, qu'on veuille desservir deux lignes A et A' dont les résistances, y compris celles des électro-aimants, sont R et R', avec une pile composée de n couples ayant chacun une force électromotrice E et une résistance r.

La condition à laquelle on doit satisfaire est évidemment que le courant qui circule sur chaque ligne, lorsqu'il se bifurque entre A et A', soit peu différent de celui qui y passe lorsqu'une des lignes travaille seule; car autrement les appareils placés aux points extrêmes seraient soumis à des courants d'intensité variable, et il ne doit pas en être ainsi.

Or, soient i l'intensité du courant qui passe sur A lorsque cette ligne travaille seule; i' , ce que devient cette intensité lorsque le courant se bifurque entre A et A'; i'' et i''' , les valeurs analogues pour la ligne A'; on a :

$$i = \frac{nE}{nr + R}, \quad i' = \frac{nE}{nr + R}$$

et, en appliquant les formules des courants dérivés :

$$i_1 = \frac{nER'}{nr(R + R') + RR'}$$

$$i_2 = \frac{nER}{nr(R + R') + RR'}$$

d'où :

$$\frac{i_1}{i} = \frac{nrR' + RR' + nrR}{nrR' + RR'} = 1 + \frac{1}{\frac{R}{R'} + \frac{R}{nr}}$$

$$\frac{i_2}{i} = \frac{nrR + RR' + nrR}{nrR + RR'} = 1 + \frac{1}{\frac{R}{R'} + \frac{R}{nr}}$$

Si donc $\frac{i_1}{i}$ et $\frac{i_2}{i}$ doivent être peu différents de l'unité, il faut que $\frac{R'}{R} + \frac{R}{nr}$ et $\frac{R}{R'} + \frac{R}{nr}$ soient grands tous deux, et pour cela il faut évidemment que R', étant peu

différent de R, R et R' soient très grands par rapport à nr.

Donc pour qu'une pile puisse desservir deux lignes à la fois, il faut et il suffit :

1° Que les deux lignes aient des résistances à peu près égales;

2° Que la résistance de la pile puisse être négligée devant la résistance de chacune des deux lignes augmentée de celle de l'électro-aimant qui la dessert.

Si l'une des lignes offrait une moins grande résistance que les autres, on ne ferait pas communiquer avec cette ligne le pôle du dernier couple, mais celui d'un couple intermédiaire.

b) *Emploi des machines magnéto ou dynamo-électriques.* — On peut remplacer les piles par des machines magnéto ou dynamo-électriques. Dans le premier cas, un aimant se meut en face d'un électro-aimant; la pile est complètement supprimée; mais la manipulation est plus lente et plus fatigante, et il est difficile de changer à volonté l'intensité du courant, qui dépend des dimensions des appareils. Dans le second système, on se sert encore d'une pile locale, qui aimante le fer doux et produit un courant dans un circuit induit; on peut modifier l'intensité de ce courant induit; il suffit pour cela de diviser la bobine induite en deux circuits, qui peuvent être séparés ou réunis. On se sert du courant induit direct ou du courant induit inverse; mais le premier tend à se propager plus rapidement parce qu'il a une plus grande tension. Des expériences ont établi que l'action du courant direct sur un électro-aimant est six fois plus grande que celle du courant inverse.

L'idée de remplacer les piles par des machines électriques pour le service des bureaux télégraphiques est séduisante, lorsqu'on considère qu'aucun générateur ne fournit l'électricité à aussi bas prix que les dynamos et que l'entretien des piles est une cause d'embarras assez sérieux, lorsqu'il s'agit bien entendu de postes ayant besoin d'un grand nombre de couples. Des essais dans ce sens ont été faits, vers la fin de 1878, par M. L. Schwender, entre les bureaux de Calcutta et d'Agra, sur une distance de 1.250 kilomètres. M. P.-H. Ledebor, qui a publié dans la *Lumière électrique*, n° 33, t. XXV, une étude intéressante sur l'emploi des dynamos en télégraphie, rend compte en ces termes de ces essais, faits avec une dynamo Siemens type A :

« La machine avait été placée à une petite distance (2 kil. 8) du bureau de Calcutta. Le pôle négatif de la machine était mis en communication avec la terre par trois plaques de cuivre ayant une résistance de 4,67 ohm. L'autre pôle était en communication avec des manipulateurs ordinaires qui permettaient de le diriger sur différents fils télégraphiques, l'un après l'autre. Comme on ne pouvait amorcer la dynamo sur le circuit télégraphique, un second circuit à faible résistance alimentait un RÉGULATEUR à arc Serrin, ou bien travaillait sur une résistance auxiliaire de 4,517 ohm; un AMPÈRÈMÈTRE intercalé dans le circuit exciteur permettait de mesurer l'intensité du courant produit par la dynamo. On a télégraphié ainsi sur onze lignes différentes; mais on n'envoyait le courant dérivé que dans une seule ligne à la fois. »

Un des essais les plus intéressants, parce qu'il a été suivi d'application, est celui de la Western Union Telegraph Company, à New-York, qui, en 1880, a remplacé dans son bureau central de New-York plus de 10.000 couples Callaud par des machines dynamo pour desservir les grandes lignes de son réseau.

Si on remarque que les frais d'entretien d'un couple Callaud ressortent à 5 francs par an, ce qui

procéder au montage du poste, ce qui exige du temps et la présence d'un agent technique. Enfin on s'expose à ce qu'un ou plusieurs objets soient égarés ou déteriorés en cours de route, ce qui suffit pour empêcher l'installation. Le poste portatif système G. Dumont et E. Cabaret évite tous ces inconvénients; il est contenu tout entier dans une boîte qui sert de caisse de transport et, lorsqu'elle est développée, de table télégraphique, ainsi que le montrent les fig. 6 et 7.

Les appareils essentiels (*manipulateur, récepteur, boussole, rouet*) sont d'un modèle courant, de sorte qu'on peut les remplacer avec la plus grande facilité en cas d'avarie et qu'on n'a pas besoin de s'approvisionner d'un matériel spécial qui coûterait cher et qui pourrait ne pas fonctionner lorsqu'on aurait à s'en servir après un long séjour en magasin. A l'intérieur de la boîte toutes les communications sont apparentes, de manière qu'on puisse découvrir aisément un DÉRANGEMENT. Pour mettre le poste en ligne, il suffit de poser la boîte sur un appui quelconque et même sur le sol, au besoin; de se relier par des fils volants d'une part à la ligne, d'autre part à la terre et enfin à une pile contenue dans une boîte spéciale. La communication à la terre s'opère très simplement et très rapidement à l'aide d'un serre-rail qui fait partie des objets accessoires accompagnant le poste. Quant à la pile elle se compose de couples du système Leclanché légèrement modifié. Chacun d'eux comprend un vase en ébonite contenant un mélange de coque de pétrole et de chlorhydrate d'ammoniaque servant de dépolarisant et d'excitateur, un crayon de charbon garni d'une tête de plomb et surmonté d'un écrou de serrage (ce charbon plonge dans le mélange avec lequel il est en contact); un crayon de zinc muni d'une vis de serrage et enveloppé d'une gaine de toile. La caisse à pile contient 24 couples assemblés en série; il suffit d'introduire dans chaque vase une quantité d'eau déterminée à l'aide d'une mesure spéciale pour mettre immédiatement la pile en activité.

Le poste est enfermé dans une boîte en bois de noyer mesurant $0^m,43 \times 0^m,45 \times 0^m,21$, et pesant environ 20 à 25 kilogrammes.

Les appareils qui composent ce poste sont: un récepteur Morse (avec sa clef), un manipulateur Morse, un rouet, un commutateur de lignes à deux directions (avec deux bouchons), un commutateur de pile à deux forces (avec un bouchon), un paratonnerre à papier, un galvanomètre vertical, un relais annonciateur à deux directions (système Sieur), une sonnerie d'appel, un porte-encrier, un encrier, un porte-pinceau, un pinceau à encrer, un block-notes. La caisse à pile contient: vingt-quatre couples à vase d'ébonite, une mesure, un entonnoir, quatre conducteurs souples, un serre-rail, une lime de ciseleur (pour décaper le rail servant à établir la communication à la terre), une tige courbée pour serrage, un tournevis, une bobine de fil recouvert, deux flacons d'encre oléique, dix-huit rouleaux Morse, un pinceau à encrer, un pinceau blanc, un bouchon de commutateur (de rechange), deux rondelles de feutre pour tampon de récepteur Morse et une instruction pour l'usage du poste.

Le poste portatif dont nous venons de donner une

description succincte est appelé à rendre d'importants services aux chemins de fer.

On a combiné des appareils télégraphiques permettant d'organiser le mode d'exploitation des voies ferrées désigné sous le nom de *block-system*. On a imaginé aussi une foule de combinaisons ayant

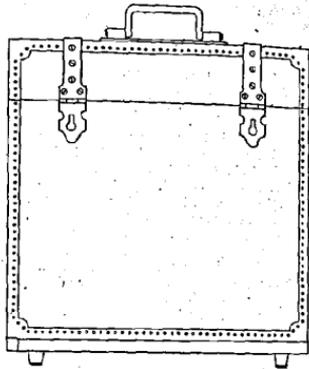


Fig. 6. — Vue de la boîte fermée.

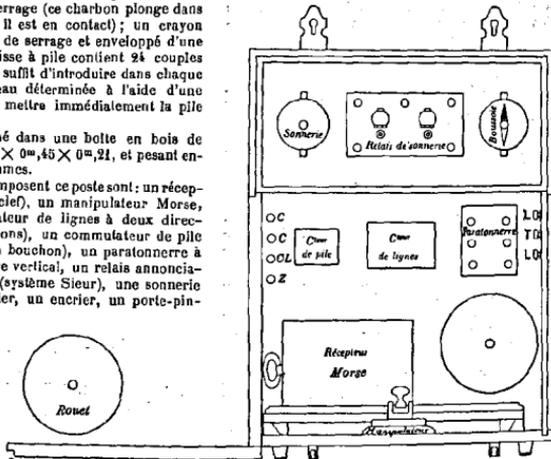


Fig. 7. — Vue de la boîte ouverte (poste prêt à fonctionner).

pour but d'indiquer le départ des trains (v. *AVERTISSEUR, CLOCHE ELECTRIQUE*, etc.). On a essayé de faire produire par les trains eux-mêmes des signaux automatiques d'arrêt pour les trains suivants. Ces divers appareils peuvent être considérés comme appartenant à la télégraphie des chemins de fer, mais on trouvera leur description aux mots qui les désignent plus spécialement.

Enfin, une autre application que nous devons également signaler ici, c'est l'établissement d'une communication électrique entre les diverses parties d'un train, dans le but d'éviter les accidents dus à l'absence de tous rapports entre les voyageurs et les chefs de train pendant la marche; le plus simple des systèmes est l'emploi de **SOMMÈRES ÉLECTRIQUES** reliés à des fils courant le long des wagons; les fils de deux wagons consécutifs se réunissent à pince et crochet. C'est à M. Prud'homme qu'est due cette application de la télégraphie; on peut remplacer l'un des fils par une communication avec la terre au moyen des roues. Ces appareils ont été appliqués par les compagnies françaises, et pour que les voyageurs n'abusent pas des moyens d'appel, la Compagnie du Nord a enfermé l'instrument mis à leur disposition dans une boîte de verre qu'ils sont obligés de briser et qui indique de quel compartiment est partie la demande de secours. C'est ce qu'on appelle l'**INTERCOMMUNICATION**.

On désigne aussi sous ce nom les systèmes imaginés dans le but d'établir une communication télégraphique permanente entre les postes télégraphiques des stations de la ligne et le train qui circule sur cette ligne. On trouvera au mot **INTERCOMMUNICATION** l'exposé sommaire du système Phelps mis à l'essai en Amérique en 1885 entre Harlem-Bridge et New-Rochelle; ces essais ont été poursuivis en 1886, 1887 et 1888 et paraissent avoir donné des résultats définitifs. Des perfectionnements importants ont été réalisés par MM. Edison et Gilliland qui utilisent les lignes télégraphiques établies le long de la voie. « Ces lignes forment en quelque sorte, une des armatures d'un vaste condensateur, la seconde étant constituée par le toit métallique des wagons arrangés tout spécialement. En chargeant le toit des wagons à l'aide de courants ondulateurs émis par une bobine d'induction, on agit par influence sur les fils télégraphiques qui transmettent à des téléphones récepteurs placés dans les stations, les ondulations longues ou brèves correspondant aux signaux de l'alphabet Morse. Le poste télégraphique est placé dans un wagon dont on approprie le toit très rapidement; il suffit d'attacher un fil à la couverture métallique et un autre au châssis de la toiture pour établir une communication à la terre et compléter le circuit par l'appareil. »

La *Lumière électrique*, à laquelle nous emprunions ces renseignements, dit qu'à l'occasion des derniers essais un grand nombre de messages ont été capotés et reçus avec toute la célérité désirable et avec la plus grande exactitude.

En temps de guerre, les télégraphes des chemins de fer forment un réseau tout établi qui peut d'abord servir à la surveillance et à la défense des voies, à condition que, toutes les dépêches étant précédées de signes conventionnels, on soit sûr de ne pas être exposé à correspondre avec l'ennemi. Lorsqu'on est obligé de détruire les télégraphes, il convient de munir d'outils spéciaux les cavaliers généralement chargés de ce service : haches pour couper les poteaux, clefs pour desserrer les écrous et les écailles, pics-de-biche pour enlever les tire-fonds des isolateurs.

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE AÉRIENNE ou SOUTERRAINE. — Le but de la télégraphie est de transmettre rapidement d'un point à un autre plus ou moins éloigné des signaux assez variés pour que chacun d'eux représente une phrase ou un mot, ou même une lettre, de manière que leur ensemble exprime une pensée; mais si les signaux doivent être

nombreux, les signes élémentaires peuvent ne pas l'être; il suffit même qu'un seul signe puisse être répété un certain nombre de fois et à des intervalles déterminés.

Il en résulte que, de toutes les branches de la physique, aucune ne remplira mieux que l'électricité les conditions nécessaires à l'établissement d'un système télégraphique. Le courant électrique peut, en effet, se transmettre avec une vitesse prodigieuse à de grandes distances en conservant une force suffisante pour être observé. Rien n'est plus facile que de l'envoyer, et par conséquent de varier à volonté sa durée et ses intervalles. Tous les appareils électriques sont fondés sur les mêmes principes élémentaires, qui se réduisent à l'action du **COURANT ÉLECTRIQUE** sur une **AGUILLE AIMANTÉE**, sur un **ÉLECTRO-AIMANT**, ou sur une dissolution saline facilement décomposable. Quant aux moyens de différencier les signaux, ils consistent toujours dans la variation qu'on fait subir au nombre, à la durée ou à l'intervalle des émissions du courant; mais, en faisant intervenir des organes mécaniques, on peut modifier à l'infini la forme et les fonctions des appareils.

GÉNÉRALITÉS.

Tout système télégraphique doit comprendre comme parties essentielles un fil conducteur qui réunit deux stations; à chacune de ces stations on doit avoir une source d'électricité et un appareil, appelé *manipulateur*, destiné à envoyer le courant sur la ligne, ainsi qu'un instrument, appelé *récepteur*, destiné à observer le passage du courant lorsqu'il est envoyé par une autre station.

Circuit. — Le fil conducteur est en fer galvanisé ou en cuivre; il peut être nu, auquel cas on le suspend en l'air à des **ISOLATEURS** fixés sur des poteaux ou des appuis, ou entouré d'une substance non conductrice, telle que la gutta-percha et le caoutchouc, et pincé sous terre ou immergé dans l'eau.

Le circuit doit être fermé, mais on peut supprimer une grande partie de sa longueur en utilisant la **CONDUCTIBILITÉ** de la terre. Bien que les substances qui constituent l'enveloppe de la terre soient, en effet, peu conductrices, puisque leur conductibilité est due surtout à la présence de l'eau, cependant, lorsqu'on fait communiquer avec le sol au moyen de deux plaques assez étendues des deux pôles d'une pile, le courant se produit, quelle que soit la distance qui sépare les deux électrodes plongées dans le sol; si cette distance est un peu grande, l'intensité du courant est en général plus grande que si la terre était remplacée par un conducteur métallique. Il en résulte que si on forme un circuit composé d'une pile communiquant avec le sol par un de ses pôles, et d'un long fil métallique relié à une plaque plongeant dans le sol, il se produira un courant lorsqu'on fermera le circuit entre le second pôle et le fil conducteur.

On se sert donc d'un seul fil conducteur pour l'établissement d'une ligne télégraphique. L'un des pôles de la pile et l'une des bornes du récepteur sont mis en communication avec la terre, et quand un des postes transmet, le circuit complet se trouve fermé par la terre de départ, la pile, le manipulateur, la ligne, le récepteur et la terre du poste correspondant.

Voilà, pour tout ce qui concerne la construction des lignes, les mots : **FIL TÉLÉGRAPHIQUE, LIGNE, POTEAU, ISOLATEUR.**

Manipulateur. — Si le courant devait toujours être envoyé d'une station A à une station B, il suffirait qu'on eût en A une pile P communiquant avec

fait 50.000 francs pour les 10.000 en service, tandis que l'installation complète des dynamos n'a coûté que 25.000 francs, on voit que l'économie réalisée est importante.

On a employé, de 1880 à 1888, 15 dynamos Siemens groupées en trois séries ou équipes de 5 dynamos (fig. 3). Dans chaque équipe, l'une des dynamos servait d'excitatrice pour les quatre autres, qui étaient reliées en série et donnaient une force électromotrice

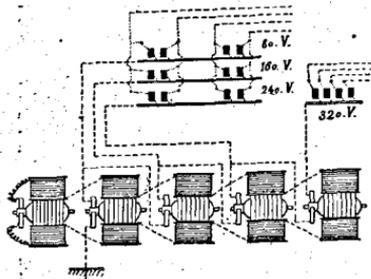


Fig. 3. — Disposition schématique de l'installation de la Western Union Telegraph Company.

totale de 320 volts. Chaque groupe de machines donnait quatre potentiels différents; chacune des machines (excepté l'excitatrice) donnait 80 volts; la première machine fournissait donc le premier potentiel, la deuxième le deuxième potentiel de 160 volts, la troisième le troisième potentiel de 240 volts et enfin

la quatrième le quatrième potentiel de 320 volts. Les prises de potentiels aboutissaient à de larges rubans de cuivre auxquels étaient reliées les résistances au maillechort de 500 ohms insérées dans chaque ligne.

L'installation présentait plusieurs inconvénients, notamment la dépendance des champs magnétiques de toutes les machines et le petit nombre de potentiels disponibles; aussi a-t-elle été modifiée.

Voici la description donnée par M. Westler de la nouvelle installation. (*Lumière Électrique*, n° 11; t. XXVI).

« Une équipe se compose toujours de cinq machines, mais elles sont groupées en série comme l'indique la fig. 4.

« L'excitatrice E excite les champs des quatre autres machines. Les cinq circuits sont disposés en dérivation; chacun d'eux est pourvu d'un auto-stator R, qui permet d'augmenter ou de diminuer à volonté le champ de chaque machine. La résistance extérieure des circuits d'excitation de chaque machine est le même (17 ohms dans les conditions normales). La machine E fournit en outre un cinquième potentiel de 80 volts aux lignes. Il y a en tout quinze machines divisées en trois groupes et une série de réserve. Un dispositif spécial permet de renverser le courant dans les électros des quatre machines A, B, C, D, tout en conservant au champ de la machine E une valeur constante et de renverser le courant que cette machine fournit aux lignes. Les dynamos sont du type Edison de 40 AMPÈRES chacune, la résistance de l'induit est de 0,1 ohm et celle des inducteurs de 30 ohms. Chaque groupe est actionné par une machine à vapeur de 15 chevaux tournant à la vitesse de 1.200 tours par minute. Les machines A et B donnent chacune une force électromotrice de 70 volts; C et D donnent 60 volts, et E, 65 volts, ce qui fait

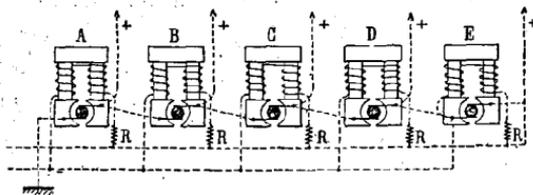


Fig. 4. — Disposition schématique de la nouvelle installation de la Western Union Telegraph Company.

un total 325 volts divisés en degrés de 70, 140, 200, 260 et 325 volts formant les potentiels numéros 1, 2, 3, 4 et 5. Le nombre des lignes alimentées par le premier potentiel de chaque série est d'environ 160 avec une résistance moyenne de 3.000 ohms. Le deuxième potentiel alimente environ 135 lignes d'une résistance moyenne de 3.500 ohms; enfin, le troisième potentiel alimente 80 lignes de 4.000 ohms de résistance, et les quatrième et cinquième potentiels alimentent 40 lignes de 5.000 ohms.

« La première machine A est la plus fortement chargée, sa résistance extérieure étant la résistance combinée des bobines d'électros de toutes les lignes; elle fournit jusqu'à 23 ampères, tandis que la machine E ne fournit que 10 ampères, dont 7 pour l'excitation des autres machines. »

L'installation décrite ci-dessus donne, paraît-il, toute satisfaction; la précédente avait fonctionné pendant huit années, et durant ce laps de temps

les accidents avaient été rares et sans importance. M. Westler ajoutait dans son article, écrit en mars 1888, qu'une installation du même genre allait être établie dans les bureaux de la Western Union à Pittsburgh, et que ce serait probablement les deux seuls exemples, aussi bien aux États-Unis que dans le monde entier, de bureaux télégraphiques centraux marchant avec des machines dynamos.

Des essais analogues ont eu lieu en 1883 à la station centrale des télégraphes de Berlin. On travailla à la fois sur un nombre de lignes variant de 44 à 18; en janvier 1884, on étendit ce mode de télégraphie à 40 lignes, dont 12 souterraines et 2 aériennes desservies par l'appareil Hughes, 41 lignes souterraines et 12 aériennes desservies par l'appareil Morse et 3 lignes à courant continu. Le service a été parfaitement effectué avec la dynamo, bien que la force électromotrice de courant variât beaucoup d'une ligne à l'autre par suite des grandes différences de résistance. Afin de protéger

les fils conducteurs, on intercalait dans le circuit des fils courts et minces en acier, enfermés dans des tubes en porcelaine, et qui brûlaient avant qu'un courant trop fort pût entrer dans la ligne.

L'emploi des dynamos, dans le cas particulier qui nous occupe, présente quelques difficultés : la résistance extérieure de la ligne empêche la machine de s'armer; il faut donc exciter le champ magnétique au moyen d'une autre machine dynamo ou magnéto-électrique.

Les lignes aboutissant à un même bureau ayant des résistances très différentes, il faut, dans un service régulier, disposer de différentes forces électromotrices et par suite avoir plusieurs machines. On pourrait aussi n'avoir qu'une seule machine, à condition d'égaliser, au moyen de résistances auxiliaires, les résistances de toutes les lignes du bureau.

Enfin, comme le travail d'un bureau télégraphique varie suivant les différentes heures de la journée et de la nuit, les machines doivent pouvoir satisfaire à ces variations : les deux solutions qui se présentent ont toutes deux des inconvénients, et elles consistent soit à employer l'excédent de force motrice pour l'exécution d'autres travaux que celui de la transmission télégraphique, soit à faire usage d'ACCUMULATEURS fournissant le courant dans les moments où le service est peu chargé et où les machines sont trop puissantes.

Signalons maintenant un nouveau système, dû à M. Pierre Picard, consistant à remplacer toutes les piles d'un grand bureau ou STATION CENTRALE par une seule dynamo. Ce système, mis à l'essai à l'administration centrale des Postes et Télégraphes à Paris, est décrit comme suit par M. Ledebor : « Il permet

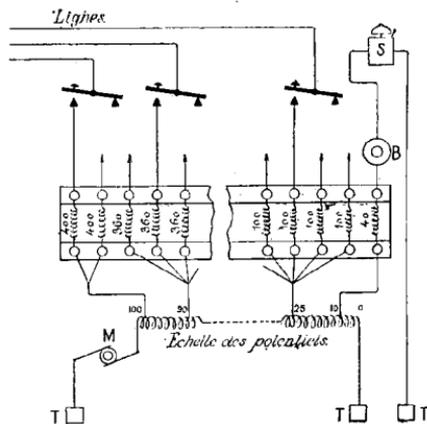


Fig. 5. — Disposition schématique du système de M. P. Picard.

de faire des prises de courant à tous les potentiels intermédiaires entre zéro et le maximum : 100, 110 ou 120 volts. Les deux pôles de la machine sont reliés à la terre, l'un directement, l'autre à travers une résistance de 5 ohms environ. La machine à vide débite 20 ampères. La perte d'énergie absorbée par la résistance correspond à une différence de potentiel de 110 volts, et à un travail équivalent à 3 chevaux électriques. Ceci nécessite une consommation de 5 à 10 kilogrammes de charbon au plus par heure, dépense supplémentaire qui est négligeable. C'est le long de la résistance que sont prises, aux points voulus, toutes les dérivations nécessaires aux manipulateurs.

Comme en télégraphie on travaille, suivant les appareils, avec le pôle positif ou avec le pôle négatif ou même avec les deux pôles à la fois, il est nécessaire d'avoir recours à deux machines donnant l'une le pôle positif, l'autre le pôle négatif. On emploie des machines Gramme, type d'atelier, ou d'autres machines de 100 à 110 volts. À gauche de ces machines sont les échelles des potentiels correspondants. De ces échelles partent des câbles communiquant aux rosaces des piles des différentes salles du bureau.

Le schéma (fig. 5) donne la disposition d'ensemble.

Outre l'échelle des potentiels, il existe un tableau de résistances variant, dans le cas considéré, de 40 à 100 ohms. Ces résistances servent à limiter à $1/4$ d'ampère le courant maximum qui peut circuler dans chaque circuit quand il se produit accidentellement un court-circuit. S est une SONNERIE avec un bouton d'appel B. »

Le système dont nous venons de donner une description succincte est simple ; il est installé à la STATION CENTRALE de la rue de Grenelle à Paris, et donne des résultats très satisfaisants. Mais, suivant M. Ledebor, on hésite à l'adopter définitivement parce que l'emploi d'une seule dynamo pour tout le réseau n'offre pas assez de garanties. Les accidents donneraient lieu à des pertes d'argent disproportionnées avec les bénéfices à réaliser. Avec des piles, au contraire, on a toute sécurité, puisqu'on peut avoir en réserve une série de couples prêts à être substitués à celle qui viendrait à être inutilisable.

C'est en raison des quelques difficultés techniques que présente l'emploi des machines dynamos que l'on pensa à se servir d'ACCUMULATEURS, et des études furent entreprises dans ce sens, notamment en Angleterre. Les télégraphistes ont donc aujourd'hui le choix entre

L'emploi des machines dynamos seules et leur combinaison avec des accumulateurs.

La première solution a été adoptée récemment (1888) par la Postal Telegraph Cable Company, de New-York, qui a remplacé 10.000 couples Callaud par 16 dynamos Edison d'un type spécial. Ces dynamos, identiques deux à deux, sont disposées en deux groupes de huit chacun, qui commandent respectivement deux machines à vapeur de 10 chevaux. Chacun de ces groupes occupe une surface de 8 mètres carrés, ce qui, en tenant compte des machines à vapeur, limite à une trentaine de mètres carrés l'emplacement nécessaire. A Londres, l'Exchange Telegraph Company, qui a pris l'initiative d'une transformation de son matériel, a préféré la deuxième solution : un moteur Brotherhood, actionné par l'eau sous pression d'environ 47 kilogrammes par centimètre carré, commande une machine dynamo qui charge les accumulateurs. Ces derniers sont au nombre de 210, les récipients sont en verre et montés sur des isolateurs; il y a trois groupes de 70 accumulateurs chacun. A la vitesse de 930 tours la dynamo donne un courant normal de 194 volts et 15 ampères. La nécessité d'une commande intermédiaire pour obtenir la vitesse de régime réduit à 52 % environ le rendement électrique; et les accumulateurs en font perdre, en outre, 40 %. Le courant utilisable ne correspondrait donc qu'à 31 % de la force motrice.

L'expérience démontrera quel est le meilleur de ces deux systèmes.

Organisation des bureaux télégraphiques. — Nous renvoyons, pour tout ce qui concerne l'installation et l'organisation des bureaux télégraphiques, aux mots BUREAU, MONTAGE, POSTE, STATION.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES.

La classification des systèmes télégraphiques peut être faite à différents points de vue : l'une des meilleures consiste précisément à classer les appareils d'après la nature des récepteurs et le mode de production des signaux; elle a été adoptée par Blavier, dans son important traité de *Télégraphie électrique* (1867), qui devra être consulté par toutes les personnes désirant faire une étude complète et approfondie de la *télégraphie*.

Nous diviserons donc les appareils télégraphiques en quatre grandes classes :

- 1° Appareils à signaux fugitifs.
- 2° Appareils à signaux permanents.
- 3° Appareils enregistreurs autographiques.
- 4° Appareils pour télégraphie multiple.

I. — Appareils à signaux fugitifs.

1° Appareils à aiguille aimantée.

Appareil de Wheatstone. — Le système proposé par Ampère exigeant entre deux points éloignés un nombre de fils égal à celui des lettres de l'alphabet n'était pas praticable, et Wheatstone fut bientôt conduit à réduire le nombre des fils en combinant les mouvements de l'aiguille.

Le premier appareil utilisé avait cinq aiguilles aimantées et exigeait six fils. Une lettre était indiquée par la déviation en sens contraire de deux aiguilles, les fils correspondants étant traversés en sens inverse par le courant dont ils formaient le circuit; un chiffre, par la déviation dans un sens ou l'autre d'une aiguille, le courant passant alors par un fil additionnel.

Le circuit était fermé par la communication de la

pile avec les fils conducteurs, au moyen de l'abaissement de deux boutons métalliques reliés entre eux et à chacun des fils; chaque lettre correspondait à deux boutons particuliers.

Appareil à aiguille aimantée ou Télégraphe anglais de Cooke et Wheatstone. — Ce système trop compliqué fut peu à peu simplifié par la réduction du nombre de fils et de celui des aiguilles, et M. Cooke et Wheatstone imaginèrent l'appareil anglais à une ou deux aiguilles. Le manipulateur de cet appareil porte une poignée pouvant tourner en tous sens autour d'un axe horizontal et permettant, comme dans les machines magnéto-électriques ordinaires, d'envoyer sur la ligne un courant positif ou un courant négatif. Ce courant arrive dans le fil enroulé sur un cadre galvanométrique au centre duquel est une aiguille mobile. Le récepteur et le manipulateur sont pourvus chacun d'un appareil semblable. Les aiguilles sont dès lors déviées de la même manière; l'expéditeur détermine les déviations de la première, le destinataire observe les déviations de l'autre.

Le plus souvent l'appareil comprend deux galvanomètres; on forme alors les signaux au moyen des oscillations de deux aiguilles, et sa manœuvre né-

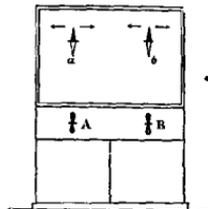


Fig. 6.

cessite l'établissement de deux fils conducteurs. Les oscillations sont limitées par de petits butoirs. On combine le nombre et le sens de ces oscillations pour former un alphabet.

L'appareil se présente extérieurement sous la forme d'une sorte de buffet : à la partie supérieure sont les aiguilles *a* et *b* qui transmettent les signaux; elles constituent ce que l'on nomme le récepteur (fig. 6).

A la partie inférieure, deux manettes *A* et *B* constituent le manipulateur. Elles servent à transmettre les signaux. Tout mouvement de ces manettes se reproduit identiquement sur les aiguilles du récepteur avec lequel on correspond. Ce télégraphe est très simple, tant comme construction que comme manœuvre. Mais la transmission ne peut pas être très rapide, à cause du peu de netteté des signaux, qui exige une grande attention pour la lecture. Dans l'appareil à une aiguille certaines lettres exigent, en effet, quatre mouvements successifs, et dans l'appareil à deux aiguilles, trois mouvements. L'appareil ne conserve, en outre, aucune trace des dépêches, et on ne pourrait lui appliquer facilement la TRANSLATION pour parer à l'insuffisance du courant.

Appareil à aiguille de Henley. — Parmi les appareils de ce genre il convient de mentionner encore l'appareil Henley, dans lequel une aiguille, placée entre les deux branches semi-circulaires d'un AIMANT, prend une aimantation d'un certain sens lorsque le courant a une certaine direction, et une aimantation contraire (ce qui la fait pivoter de 180°) lorsque le courant a la direction opposée.

2° Appareils à cadran.

Dans ces appareils, une aiguille tourne sous l'influence du courant et vient se placer à volonté, en face de signes marqués, sur un cadran récepteur, au centre duquel elle est mobile; la manipulation s'opère au moyen d'un appareil spécial à manette.

Télégraphes à cadran de Bréguet. — Les appareils dus à Bréguet diffèrent entre eux par le nombre possible des arrêts de l'aiguille indicative.



Fig. 7.

Le type primitif ou à signaux conventionnels reproduisait les signaux du télégraphe aérien de Chappe; l'aiguille tournait de 45° à chaque émission ou interruption du courant et ne pouvait par conséquent occuper que huit positions; il fallait réunir deux appareils identiques, mais fonctionnant isolément au moyen de deux fils conducteurs. Le manipulateur était formé d'une barre horizontale AB, aux extrémités de laquelle deux aiguilles mi-noires et blanches pouvaient prendre huit positions différentes (fig. 7), qui, combinées entre elles, donnaient 64 signaux distincts. Ces positions différentes étaient obtenues par le moyen d'une roue à dents A (fig. 8), actionnée par un mouvement d'horlogerie. Cette roue tournerait si ses dents n'étaient successivement arrêtées par les dents d'acier p, p' , qui forment la tête d'un levier PQR, oscillant autour de mn. La partie inférieure de

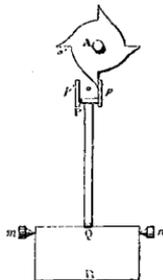


Fig. 8.

ce levier est formée par une plaque de fer doux R, sur laquelle agit un électro-aimant. Lorsque R est attirée, la palette p lâche la dent a , mais la roue A est aussitôt arrêtée parce que la dent a' rencontre p' , puis la plaque R est ramenée en arrière par un ressort antagoniste, et a' s'arrête sur p , et ainsi de suite, de sorte que la roue A avance à chaque fois

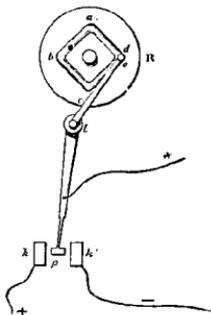


Fig. 9.

d'un huitième de tour. Quant au récepteur, il se compose d'une roue R, munie d'une gorge carrée $abcd$ (fig. 9). Dans cette cannelure glisse un galet o qui meut un levier coudé oip . Or, si l'on tourne avec une manivelle la roue R, la cannelure agit pour faire osciller l'extrémité p entre les contacts k et k' ; lors du contact avec k' le courant passe dans l'électro-aimant du récepteur; avec k , il ne passe plus. Cela produit les mouvements d'une des aiguilles du récepteur. Il faut

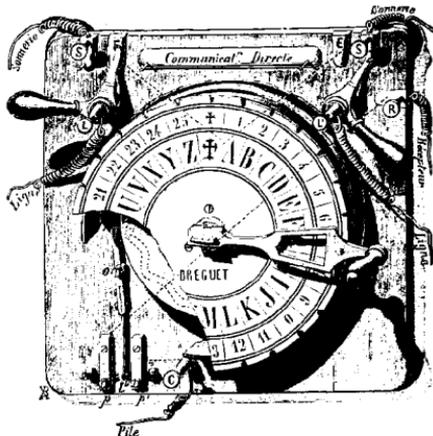


Fig. 10. — Vue en plan du Manipulateur à cadran.

un semblable manipulateur pour chacune des aiguilles A et B (fig. 1).

L'appareil employé autrefois d'une façon générale par les compagnies de chemins de fer produit de

précédent. En voici la description, empruntée au *Traité pratique d'Électricité appliquée à l'exploitation des chemins de fer*, de M. Georges Dumont.

Le manipulateur se compose d'un plateau de bois servant de base à un disque de laiton, en forme de cadran, monté sur trois piliers à écrous et sur lequel sont gravés les chiffres et les lettres de l'alphabet, ainsi que le montre la fig. 10.

Le pourtour du cadran est enaillé en face de chaque lettre. En son centre se trouve un axe de forme conique à sa partie supérieure et dont l'extrémité inférieure repose sur une pointe qui lui sert de pivot. Cette pointe est fortement pressée contre l'axe par un ressort, dont on peut modifier la tension afin de régler le frottement de la partie conique, laquelle porte une manivelle articulée munie d'une tige d'acier non trempé. Cette tige entre dans les entailles pratiquées sur le pourtour du cadran et force, par suite, la manivelle (lorsqu'on l'abaisse) à se poser bien en face de la lettre ou du chiffre qu'il s'agit de transmettre.

Sur l'axe se trouve encore fixée une roue en cuivre d'une certaine épaisseur dans laquelle est creusée une gorge sinuose présentant 13 parties saillantes et autant de parties rentrantes. Dans cette gorge roule un galet, en acier trempé dur, qui commande un levier *L'*, oscillant en son milieu o sur le pilier gauche du cadran. L'extrémité libre du levier est munie d'un ressort portant deux contacts en platine.

En faisant tourner la manivelle, on imprime à ce levier, appelé aussi *godille*, un mouvement de va-et-vient. Pendant un tour complet de la manivelle, on produit ainsi 26 oscillations du levier (13 à droite, 13 à gauche) correspondant au 26 sinusités de la gorge.

En face des contacts en platine se trouvent deux barrettes à vis de réglage *p* et *p'* contre lesquelles viennent buter lesdits contacts.

Durrière le manipulateur sont placées, à droite et à gauche, deux manettes à ressort *L*, *L'* portant sur des pivots de cuivre en forme de gouttes de saif. Les pivots de ces manettes ou commutateurs communi-



Fig. 11. — Vue extérieure du Récepteur à cadran.

quent chacun avec les fils de ligne aboutissant aux postes correspondants; les pivots marqués S, E et R sont reliés respectivement avec les sonneries du poste, le récepteur et le fil de terre. Il y a, de plus, une bande de cuivre qui porte ces mots : *communication directe*; elle permet de s'isoler et de laisser communiquer directement le poste de droite avec le poste de gauche.

Lorsqu'on ne manipule pas, la manivelle du cadran doit toujours se trouver sur la croix; le contact en platine de la godille touche alors la vis-boutoir de gauche qui communique avec le récepteur. Chaque fois que la manivelle passe sur un chiffre impair, la godille quitte le bouton de gauche et va toucher celui de droite qui est en communication avec la pile, de sorte que cette manœuvre a pour effet de lancer un courant sur la ligne. Il en résulte que, pour un tour complet de manivelle, on obtient 13 émissions de courant et 13 interruptions.

En résumé, lorsque la manivelle se trouve sur la croix ou sur un chiffre pair, la ligne est en communication avec le récepteur. Au contraire la pile est mise en relation avec la ligne quand la manivelle est sur un chiffre impair.

Le récepteur (fig. 11 et 12) se compose d'un cadran dont les divisions correspondent exactement à celles du manipulateur et devant lequel se meut une aiguille fixée sur un axe portant lui-même sur une roue d'échappement à 26 dents. Cette roue est actionnée par un mouvement d'horlogerie PP placée derrière

le cadran et est retenue par une fourchette dont les oscillations régulent la course de l'aiguille. Chaque fois que la fourchette fait un mouvement en avant, elle laisse, en effet, échapper une dent de la roue; lorsqu'elle revient à sa position première, elle laisse échapper une seconde dent, et ainsi de suite.

La fourchette est elle-même commandée par un levier muni d'une palette de fer doux A placée en regard des pôles d'un électro-aimant EE; elle est sollicitée en sens inverse par un ressort à boudin R, dont on peut modifier la tension à l'aide d'une clef L placée en haut et à droite de la boîte qui contient l'appareil. Au-dessus de cette même boîte se trouve un petit bouton H sur lequel il suffit de presser légèrement pour ramener l'aiguille à la croix d'un seul coup.

L'électro-aimant est à deux bobines, ayant chacune 600 ohms de résistance.

Le fonctionnement de l'appareil est des plus simples : à chaque émission de courant déterminée par la rotation de la manivelle du manipulateur du poste correspondant, l'électro-aimant du récepteur attire la palette; la fourchette laisse échapper une dent et, par suite, fait avancer l'aiguille d'une division. A chaque interruption du courant le ressort de rappel ramène la palette dans sa position normale, une deuxième dent s'échappe et l'aiguille avance d'une division de plus. Les mouvements se succèdent ainsi dans l'ordre indiqué tant qu'on fait tourner la manivelle du manipulateur. Pour un tour complet de ce dernier on a donc 13 émissions et 13 interruptions de courant,

soit 26 mouvements de la palette et de l'aiguille du récepteur.

Cette aiguille se meut toujours dans le même sens (de gauche à droite), tandis que la manivelle du manipulateur peut être tournée indifféremment dans les deux sens. Il est donc nécessaire, pour conserver l'accord entre les indications du récepteur et celles du manipulateur, de tourner la manivelle de ce dernier constamment dans le même sens en allant de gauche à droite.

Voici maintenant quelques renseignements pratiques sur le réglage de ces appareils :

Le réglage du manipulateur à cadran consiste simplement dans la bonne disposition des vis-buttoirs *pp'*. Lorsque l'index de la manivelle se trouve juste au milieu de l'espace compris entre deux entailles consécutives, la gâchette doit se trouver à mi-chemin des deux

buttoirs. En rapprochant convenablement ces buttoirs on augmente considérablement la force électrique transmise, ce qui est souvent nécessaire, notamment lorsque les piles s'affaiblissent ou que les lignes sont mauvaises. Quant au récepteur, il peut arriver :

1^o Que l'aiguille de cet appareil s'arrête sur les chiffres impairs lorsque l'agent du poste correspondant tourne la manivelle du manipulateur. Ce défaut provient de ce que le ressort de rappel de la palette du récepteur n'est pas suffisamment tendu. On y remédie en faisant tourner à droite, avec une petite clef, l'axe carré placé à la partie supérieure de la boîte.

2^o Que l'aiguille du récepteur s'arrête sur les chiffres pairs lorsque l'agent du poste correspondant tourne la manivelle du manipulateur. Ce défaut tient à un excès de tension du ressort antagoniste de la palette du récepteur. On y remédie comme il est indiqué ci-

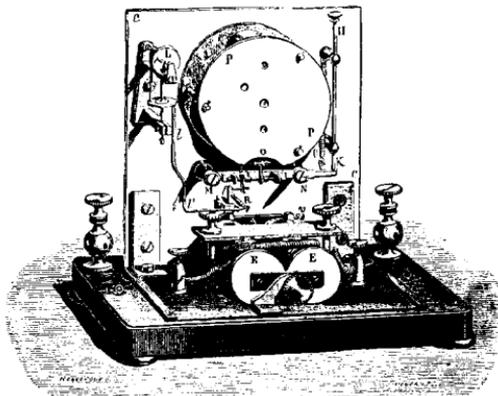


Fig. 12. — Vue du mécanisme du Récepteur à cadran.

dessus, mais en tournant la clef de réglage en sens inverse, c'est-à-dire à gauche, jusqu'à ce que le mouvement de l'aiguille devienne régulier.

Pour opérer ce réglage on transmet à son correspondant les lettres *T Z* (*tournez*) : celui-ci doit alors tourner la manivelle de son manipulateur d'un mouvement régulier. Lorsqu'on est assuré que son appareil est bien réglé, on en avertit son correspondant par un tour de manivelle en revenant bien exactement sur la croix. Il est indispensable de remonter l'appareil de temps à autre, au moyen d'une clef analogue à celle des pendules.

La transmission avec les appareils à cadran exige une grande habitude ; la manipulation en est délicate et la lecture est difficile : il faut, en effet, saisir chaque lettre au passage, sans qu'il soit possible de retarder les mouvements lorsqu'on est embarrassé. Un employé habile peut arriver à transmettre une lettre par seconde. Pour transmettre des chiffres, on fait un tour entier de la croix à la croix, et on se place sur le chiffre à indiquer.

Télégraphe à cadran de Digney frères. — Dans les télégraphes à cadran on peut supprimer le ressort de rappel de la palette du récepteur et éviter le réglage

en changeant le sens du courant à chaque émission.

On a essayé divers systèmes de ce genre. Parmi ces systèmes celui de MM. Digney frères est d'un excellent emploi. Sur le levier mobile et portant à une extrémité le galet déplacé par les mouvements de la roue sinuense est fixé à angle droit du bras usuel un autre bras, isolé du précédent, et susceptible de communiquer à contretemps avec les pôles de la pile, mais en sens inverse ; de cette manière, chaque fois qu'on passe d'une lettre de rang impair à une lettre de rang pair, on envoie sur la ligne un courant négatif, chaque fois qu'on passe d'une lettre de rang pair à une lettre de rang impair, on envoie un courant positif. Cet appareil dispense le plus souvent du réglage, qui est nécessaire seulement dans le cas où la sensibilité de l'instrument est trop grande ou trop faible. Mais il a l'inconvénient d'exiger deux fois plus d'émissions de courant que l'appareil de Bréguet. L'appareil Digney offre un autre avantage pour le rappel à la croix, qui s'effectue au moyen d'un ressort à boudin, sans que la roue d'échappement soit jamais abandonnée par les palettes et exposée à un choc.

Télégraphe à cadran de M. Froment. — Dans le télégraphe à cadran de Bréguet, la roue interruptive

tourne au moyen d'une manivelle qui se place en face de chaque lettre à transmettre; on a songé à la faire tourner d'elle-même par l'emploi d'un mouvement d'horlogerie; il suffit alors de l'arrêter à des intervalles convenables pour transmettre les signaux. M. Froment a remplacé pour cet objet le manipulateur à cadran par ce qu'il appelle un *manipulateur à clavier*. Les lettres de l'alphabet sont marquées sur les touches de ce clavier, qu'on peut abaisser comme on ferait de celles d'un piano. Dès qu'une touche est abaissée, la roue interruptrice continue son mouvement jusqu'à ce qu'une tige implantée sur son arbre de rotation rencontre cette touche; elle s'arrête alors, et, en même temps qu'elle, s'arrête l'aiguille du récepteur, dont le mouvement est déterminé par les émissions et les interruptions alternatives du courant; celles-ci sont produites par le contact d'une tige à ressort avec le pourtour de la roue, formé de segments alternativement conducteurs et non conducteurs.

En Amérique, on se sert d'appareils du même genre dans lesquels le mouvement d'horlogerie est remplacé par une manivelle dirigée par un manoeuvre.

Télégraphe à cadran de Lippens. — Ce télégraphe, employé par les chemins de fer belges, re-

pose, comme celui de Digney, sur l'inversion du courant à chaque émission; l'aiguille reste en repos après la cessation du courant, jusqu'à ce qu'elle soit rappelée par un courant contraire. La transmission, dans ce système, est assez rapide.

Télégraphe à cadran de Wheatstone. — Wheatstone a inventé un appareil à cadran fondé sur l'action des courants développés par les machines magnéto-électriques; dans cet appareil, le manipulateur se compose d'une roue mise en mouvement par une manivelle et d'un cadran à aiguille centrale. La roue agit par son mouvement, d'une part sur une roue dirigeant la bobine magnétique qui sert à produire le courant, d'autre part sur une roue qui fait pivoter l'aiguille; à chaque passage de l'aiguille d'une lettre sur la suivante, un courant est envoyé dans la ligne et parvient au récepteur correspondant qui, une fois réglé avec le manipulateur, reste toujours en accord avec lui. Le télégraphe de Wheatstone, qui date de l'année 1830, a été appliqué par lui à la télégraphie domestique de Londres.

Télégraphe à cadran de MM. Guilloit et Gatget. — En France, MM. Guilloit et Gatget ont construit un appareil du même genre que celui de Wheatstone.

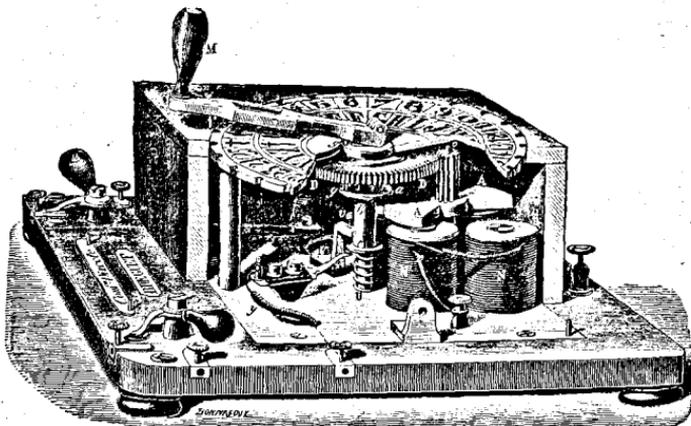


Fig. 13. — Manipulateur à induction de MM. Guilloit et Gatget.

La fig. 13 donne la vue du manipulateur. En voici la description, d'après Du Moncel : « Le système magnéto-électrique se compose d'un fort aimant en fer à cheval sur les pôles duquel sont fixés 4 noyaux de fer formant les quatre coins d'un carré parfait. Au-dessus se trouve une armature AA, tournant autour d'un axe vertical. Cette armature est assez large pour être toujours en présence de deux de ces noyaux magnétiques, quelle que soit sa position. Il en résulte que la somme des courants induits recueillis est toujours égale à elle-même pour un même sens du courant, et comme les bobines NN' qui recouvrent les noyaux magnétiques sont enroulées de manière à fournir des courants de sens inverse pour chaque quart de révolution de l'armature, c'est-à-dire pour

les positions où cette armature passe d'une diagonale à une autre, on se trouve avoir ainsi des courants renversés d'une intensité toujours uniforme.

Le mouvement est donné à l'armature AA par un pignon de 20 dents fixé sur un axe qui est conduit par une roue D de 130 dents sur l'axe de laquelle est montée la manivelle M, entièrement semblable à celle des appareils ordinaires. Quand cette manivelle passe d'une lettre à une autre après avoir fait $1/26$ de tour (5 dents de la roue D), l'armature fait un quart de tour, ce qui détermine l'envoi d'un courant positif, par exemple, lequel se trouvera suivi d'un courant négatif si la manivelle, ayant encore avancé de $1/26$ de tour, a passé à la lettre suivante. Pour le tour complet de la manivelle il y aura 13 émissions de

courants positifs et 13 émissions de courants négatifs. Afin que la transmission puisse être coupée par le poste de réception quand elle est défectueuse, l'axe de la manette est muni d'une sorte de bobine *abc* qui est mobile et à frottement doux sur lui. Cette pièce est sollicitée à s'élever sous l'effort d'un ressort à boudin U qu'on voit à la partie inférieure; mais quand la manivelle M s'abaisse, une goupille *gg*, qu'elle porte, appuie sur la rondelle supérieure de cette bobine et fait descendre celle-ci; il en résulte un contact entre la rondelle inférieure et un ressort *x* en communication avec le récepteur du poste et la terre, et par suite une communication directe entre la ligne et le récepteur. Comme cette position de la manette est celle qui correspond à l'arrêt de l'aiguille indicatrice du récepteur correspondant, on comprend que le poste transmetteur peut recevoir sur toutes les lettres du cadran, ce qui n'a pas lieu avec les manipulateurs ordinaires, où la réception ne peut se faire que de deux en deux lettres.

D'un autre côté, comme par suite du soulèvement de la manette la rondelle inférieure de la bobine *abc* vient en contact avec une vis *v* qui est en rapport avec l'un des bords du fil enroulé sur les bobines, la communication est établie entre la ligne et le générateur électrique, et tous les courants produits sont envoyés sur la ligne sans commutateur, ce qui empêche toute déperdition électrique.

Le récepteur est un récepteur à cadran ordinaire du système Bréguet, tel que celui représenté *fig. 11* et *12*, mais dont les organes électro-magnétiques sont combinés pour fonctionner avec des courants renversés. Il est constitué par deux électro-aimants dont les pôles sont opposés et entre lesquels oscille une armature aimantée découpée en fer à cheval. Le courant passe simultanément dans les deux électro-aimants et produit, par suite de son changement de sens, les effets oscillatoires nécessaires au fonctionnement de l'appareil. Ce récepteur n'ayant pas de ressorts antagonistes est naturellement sans réglage.

Télégraphe de M. Siemens. — Ce télégraphe fonctionne de la façon la plus satisfaisante à une distance de près de 500 kilomètres avec le simple courant d'une machine magnéto-électrique. Il est depuis longtemps employé en Allemagne.

Le récepteur se compose d'un cadran à 26 divisions sur lesquelles sont gravées les 26 lettres de l'alphabet et la croix de repère, comme dans le Bréguet; l'aiguille indicatrice est munie sur son axe d'une roue d'échappement à rochet de 43 dents; cette roue est de très petit diamètre, elle est actionnée par une fourchette d'échappement dont les deux extrémités sont terminées par des cliquets à ressort; chaque oscillation à droite ou à gauche de la fourchette fait avancer la roue, et par suite l'aiguille qui lui est solidaire, de 1/26 de tour; en outre, des butoirs d'arrêt limitent avec beaucoup de précision le jeu des cliquets à ressort et empêchent, par conséquent, la roue d'échappement d'avancer de plus d'une demi-dent pour chaque oscillation simple de la fourchette; le mouvement de cette dernière est commandé par une armature en fer doux située entre les pôles d'un électro-aimant et polarisée par un fort aimant en fer à cheval; le résultat de cette disposition que la palette est entraînée à droite, par exemple, par l'action d'un courant d'un certain sens, et à gauche par un courant de sens contraire; mais, dans les deux cas, la palette étant fortement aimantée resté, après le passage du courant, dans la position où elle a été amenée par l'action de ce dernier. Ce dispositif était nécessaire, parce que, l'action des courants induits étant instan-

lanée, il fallait que le système électro-magnétique pût maintenir l'effet produit par chaque courant après sa disparition.

Le manipulateur se compose d'un cadran horizontal portant les mêmes signes que le récepteur, une manivelle à poignée peut être placée successivement sur les lettres que l'on veut transmettre; l'axe qui la supporte est muni, en dessous, du cadran, d'une roue dentée commandant un pignon solidaire d'un induit Siemens à double T placé entre les branches d'une série d'aimants droits réunis entre eux par une semelle de fer doux; le rapport entre le nombre des dents du pignon et celui de la roue a été choisi de manière que l'induit fasse un demi-tour pour chaque 1/26 de circonférence parcouru par la manivelle; par suite, un tour complet de cette dernière aura émis sur la ligne 26 courants alternativement de sens contraire. Cet appareil fonctionne très bien, mais la manipulation est un peu plus dure que celle d'un appareil à cadran du système Bréguet.

Parmi les appareils à signaux fugitifs doivent être compris les appareils acoustiques, dont les récepteurs sont des *PARLÉONS* et dont les manipulateurs sont des *clefs Morse*. Nous sommes donc obligés de renvoyer leur description après celle des appareils Morse.

II. — Appareils à signaux permanents.

1° Appareils écrivants. — Ces appareils ont l'immense avantage de conserver la trace de la dépêche en caractères spéciaux et ineffaçables, et pouvant servir de contrôle. Le plus connu est le télégraphe Morse, dont la première idée est due à Steinheil; mais l'appareil de ce dernier est plutôt un instrument d'expérimentation qu'un engin de transmission courante, et c'est à Morse qu'appartient réellement le mérite de l'invention pratique. Cette invention date de 1837. (V. Morse, biographie.)

TÉLÉGRAPHE MORSE.

Un télégraphe Morse se compose de quatre éléments distincts :

- 1° Un système électro-magnétique qui reçoit l'impression électrique transmise à distance;
- 2° Une bascule armée d'un style qui traduit par un mouvement mécanique les réactions électriques exercées sur le système magnétique;
- 3° Un système mécanique ou mouvement d'horlogerie qui, en déroulant une bande de papier devant le style, permet à celui-ci de laisser une trace durable des différents mouvements qu'il accomplit;
- 4° Enfin, un manipulateur, réagissant sur le courant électrique.

Le télégraphe de Morse, tel qu'il a été construit dans le principe, comprenait les pièces suivantes (*fig. 14*) : A, électro-aimant qui fait fonction de récepteur; il reçoit le courant, s'aimante et attire alors à lui l'armature B qui fait partie du levier *bd*. Le style *d* se lève et laisse une marque sur une bande de papier *mn* qui est entraînée entre deux rouleaux lamineux *a, b*. Ces rouleaux sont actionnés par un mouvement d'horlogerie indépendant de l'électro-aimant. On déclenche ce mouvement au moment où commence la transmission de la dépêche, ce dont on est averti par un signal spécial.

Le manipulateur *fig. 15*, se compose d'un bouton *D*, sur lequel on presse avec le doigt. Alors le contact s'établit en *ef*, le courant passe et va agir sur l'électro-aimant du récepteur. Le ressort *r* relève le bouton

ton D et fait cesser le contact aussitôt que la pression de la main cesse. Suivant que le contact dure plus ou moins longtemps, le style du récepteur marquant des points ou des traits allongés en gaufrant la bande de papier.

L'alphabet de Morse lui-même, légèrement modifié,

qui presse la bande de papier contre la molette le temps nécessaire pour former des points ou des traits. L'introduction de la molette tournante dans les télégraphes écrivants est due à M. Thomas John. C'est en 1857 qu'il songea à la substituer au style à pointe sèche des appareils de Morse; seulement il

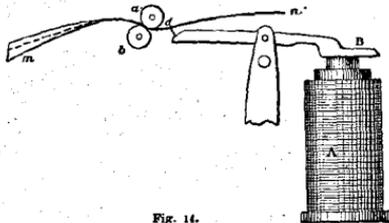


Fig. 14.

a été adopté d'un commun accord dans tous les pays de l'Europe. Nous avons donné au mot ALPHABET le

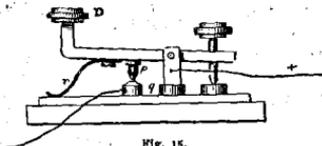


Fig. 15.

tableau des signes conventionnels (points et barres) qui représentent les lettres et les chiffres ainsi que les ponctuations et indications de service.

Perfectionnements apportés au système primitif.

— Un inconvénient des premiers appareils Morse était la difficulté du gaufrage du papier par la pointe sèche; la lecture était délicate surtout à la lumière et les signaux s'effaçaient à la longue. Un tire-ligne, plongé dans l'encre et soulevé par le courant, avait déjà donné de meilleurs résultats; on eut heureusement l'idée de remplacer le tire-ligne par une molette plongeant à moitié dans un bassin plein d'encre; cette disposition, modifiée par M. Digne, a permis d'établir d'excellents appareils.

Dans les télégraphes Morse à molette, la seule fonction du courant consiste à soulever une petite étendue de la bande de papier au moyen d'une lame en biseau appelée *couteau* et à l'appliquer contre la molette imprégnée d'encre. Le mécanisme d'horlogerie est moins volumineux et plus commode que les premiers mouvements à poids de Morse. La marche est réglée au moyen d'un régulateur à ailettes. La bande de papier est entraînée entre deux cylindres lamineurs dont le serrage est à la volonté de l'opérateur.

Aussitôt qu'un signal spécial prévient l'employé qu'une dépêche va être transmise, il met en mouvement le mécanisme; la bande enroulée sur le magasin à papier *d* se déroule sous l'action des rouleaux *a, b* (fig. 16). Entre le poulie *c* et ces rouleaux est une molette *f*, également mue par le mouvement d'horlogerie et frottant sur un rouleau garni de flanelle encre *e*.

Lorsque le courant passe, il agit sur un ressort *f*

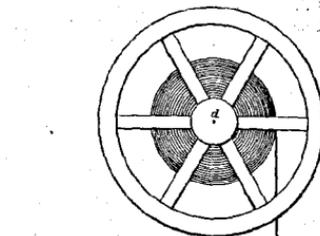


Fig. 16.

avait rendu cette molette mobile et elle faisait fonction de style, s'approchant ou s'éloignant de la bande de papier; mais la transmission de mouvement pré-

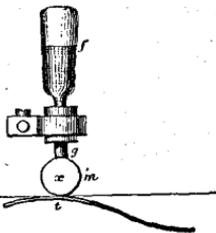


Fig. 17.

sentait des difficultés. M. Siemens a voulu rendre plus facile l'encre de la molette en remplaçant le cylindre encreur par une fiole d'encre *f* bouchée par un tampon de flanelle *g* contre lequel frotte la molette *m* (fig. 17).

Nous donnons, fig. 18 et 19, la vue d'un manipulateur et d'un récepteur Morse d'un type courant. Le manipulateur se compose, comme on le voit, d'un levier *W* pouvant osciller verticalement sur deux pointes et communiquant toujours avec la ligne par l'intermédiaire d'une borne d'attache. Quant au récepteur, il comprend quatre organes principaux: un tampon rouge composé de cinq mobiles (un barillet et quatre roues) et d'un volant régulateur, un électro-aimant,

un système imprimeur formé d'une molette et d'un couteau, enfin un magasin à papier constitué par un rouet qui surmonte l'appareil ou qui est placé à droite, selon les modèles. L'encore grasse est étalée par l'agent télégraphiste sur le tampon, au moyen d'un pinceau.

Nous ferons remarquer que la résistance de chaque

bobine de l'électro-aimant est de 250 ohms et que le fil en forme 7.000 spires environ sur chaque bobine. La palette de l'électro-aimant qui porte le couteau est attirée, comme on l'a vu, par les noyaux de l'électro aux passages du courant; elle est ramenée à sa position normale par un ressort antagoniste lorsque

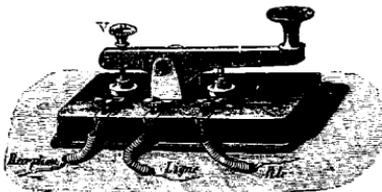


Fig. 18. — Manipulateur Morse.

la dé-aimantation a lieu. Le jeu de l'armature est limité par deux buttoirs. Le ressort antagoniste doit pouvoir être tendu ou détendu; le système particulier qui permet de régler le ressort consiste en un tube portant sur son contour une rainure hélicoïdale que l'on

peut faire tourner au moyen d'un bouton moleté placé à la partie supérieure. Lorsqu'on tourne ce bouton de gauche à droite l'hélice guide le mouvement ascensionnel d'un petit piston auquel est attaché le ressort antagoniste. La rotation en sens inverse détend le ressort.

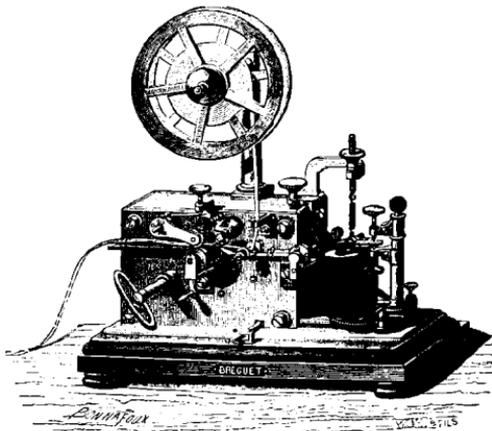


Fig. 19. — Récepteur Morse.

Dans certains appareils le système de réglage est placé à l'intérieur, le bouton de réglage est seul apparent et se trouve à la partie antérieure du récepteur. En tournant ce bouton de gauche à droite on tend le ressort; en tournant en sens contraire on le détend. En opérant l'un ou l'autre de ces deux mouvements on agit, en effet, sur une pièce basculant horizontalement, laquelle appuie plus ou moins le ressort sur un bras solidaire de l'armature.

Le télégraphiste doit savoir régler son récepteur. Ce réglage consiste à placer l'armature à 1, 2 milli-

mètres environ de l'électro lorsque l'appareil est au repos; ce qui s'obtient à l'aide d'un buttoir. Un second buttoir doit empêcher la palette de venir au contact de l'électro lorsqu'elle est attirée; toutefois celle-ci doit s'approcher autant que possible. On colle du papier en dessous de cette armature pour éviter toute adhérence avec les noyaux. Il faut aussi régler la pression exercée entre les rouleaux rogueux qui entraînent le papier.

Méthode pour l'étude du télégraphe Morse. — L'étude du télégraphe Morse se fait assez rapide-

ment. Il faut cependant procéder avec une certaine méthode, et il nous paraît utile de reproduire ici les instructions que le Service télégraphique des chemins de fer de l'Est distribue à ses agents pour les guider dans cette étude.

« Un agent ne doit manipuler qu'après avoir suffisamment appris les signes de l'alphabet Morse.

« Le premier exercice de manipulation consistera dans l'exécution successive des cadences d'A, d'U, de V, de 4.

« Ensuite on étudiera les lettres et les chiffres, non pas dans la succession alphabétique, mais plutôt dans l'ordre suivant: A, U, V, 4 — A, W, J, 1, 2, 3, 4 — T, M, O, CH, zéro — K, X — Q, Y. Les lettres et les chiffres qui se terminent par des points offrent en général plus de difficultés que les autres; on fera d'abord E, I, S, H, 5; puis 6, 7, 8, Z, 9, G, N, É, L, F, R, P; le C sera réservé pour le début à ne pas terminer les lettres et les chiffres par des barres trop courtes et des points trop longs.

« Ce n'est qu'après avoir appris à faire parfaitement les lettres isolées qu'on les groupera en mots, en allant toujours du simple au compliqué.

« Quand on passera des mots aux phrases, on ne saura trop s'attacher à séparer les divers mots les uns des autres.

« Enfin, les chiffres seront l'objet d'une attention particulière.

« On travaillera très rarement en local, parce qu'il est indispensable d'acquiescer l'habitude de se rendre compte par l'ouïe et le toucher seuls de la précision des signaux qu'on envoie. L'œil doit conserver toute sa liberté pour suivre le texte de la dépêche.

« Il convient de faire mouvoir le levier du manipulateur verticalement dans son plan; la tenue de la main est pour cela d'une grande importance: on place l'index sur le bouton de corne, le pouce et le médium dans la gorge; le bras, rapproché du corps, restera immobile. Le mouvement d'oscillation doit venir du poignet seul.

« La lecture, qui n'est pas facile, devra marcher de pair avec la manipulation.

« Pendant la réception, il faut transcrire la dépêche au fur et à mesure que la bande se déroule. »

Vitesse de transmission. — La vitesse de transmission qu'on peut obtenir avec l'appareil Morse dépend d'un certain nombre de conditions générales, et spécialement de la nature et de la longueur de la ligne; mais on peut avoir une idée assez exacte du rendement de ce système en évaluant le nombre de points que le récepteur peut recevoir par minute. Une armature mobile en face d'un électro-aimant peut, sous l'influence de courants discontinus, effectuer au moins, d'après M. Blavier, 5.000 oscillations; mais elles sont alors d'une très faible amplitude et ne peuvent servir à produire des signaux sur une bande de papier. Dans l'appareil Morse à pointe sèche, dont le levier est toujours assez massif, on ne peut compter sur plus de 300 à 400 points par minute. L'appareil à molette ordinaire, à relais, comporte un maximum de 900 points; enfin, un appareil à molette, construit dans les meilleures conditions, peut recevoir au maximum 2.000 points par minute.

Or, en prenant pour unité la durée du point, on sait que la valeur du trait est 3, la séparation des lignes d'une même lettre 1, celle de deux lettres 3, celle de deux mots 6. En appliquant ces données à une suite de phrases prises au hasard, on a constaté qu'un mot moyen équivaut à 48 points. L'appareil le plus parfait donnant 2.000 points espacés, on pourra

transmettre $\frac{4.000}{48}$ ou 84 mots. En pratique, on ne dépasse pas une vitesse moyenne de 25 mots; l'intervalle des points est plus grand, la lecture est plus facile.

Parleur. — L'appareil Morse a dû ses nombreuses applications à la facilité de contrôle que possèdent les employés; toutefois, on a bien vite remarqué que le levier d'un récepteur frappant sur les buttoirs produit un son différent suivant que le contact est de courte ou de longue durée; on a pu, avec un peu d'habitude, recevoir les dépêches au son, sans avoir besoin de lire les signaux sur la bande. On peut donc supprimer cette bande, rendre le récepteur plus massif et le placer sur une planchette sonore de manière à percevoir distinctement et clairement les chocs du levier. L'appareil ainsi réduit porte le nom de *parleur*, et les employés font la lecture au son. Certains signaux réglementaires s'opèrent en France de cette manière; toutefois, le contrôle de la bande est exigé pour les autres transmissions. En Amérique, dans les bureaux très importants, la lecture ne se fait qu'au son, et la bande sert seulement aux bureaux secondaires.

En faisant varier le sens du courant au moyen de deux leviers, qui correspondent à un récepteur double dont les deux leviers frappent sur des timbres de sons différents, on a pu faire un appareil employé en Angleterre dans les bureaux importants de certaines compagnies.

Les parleurs exigent une assez grande intensité magnétique pour produire un bruit suffisant, on les fait fonctionner, en général, au moyen de RELAIS qui reçoivent le courant de la ligne.

On fait des parleurs renfermés dans une petite boîte métallique dont le volume n'excède pas celui d'un chronomètre ordinaire et qui sont très commodes pour des essais de ligne ou pour la télégraphie militaire.

Modifications diverses apportées au type Morse. — De nombreux perfectionnements ont été apportés au télégraphe Morse, dont l'usage est universel, et on s'est efforcé de construire des manipulateurs plus commodes et des récepteurs plus parfaits.

La manipulation ordinaire à la main présente plusieurs inconvénients: elle est très irrégulière et varie avec les employés; elle limite aussi la vitesse de transmission. On a proposé de remplacer le manipulateur usuel par un tableau sur lequel seraient inscrits tous les signes formés en tablettes métalliques incrustées dans un corps isolant et communiquant avec le fil de la pile. Un stylet relié au second fil pouvait être promené sur le tableau et produire un circuit fermé chaque fois qu'on passait sur une lame métallique.

Il a paru plus avantageux de se servir de manipulateurs à clavier, et les appareils de ce genre, dus à Siemens et Althaud, ont donné d'excellents résultats. On a cherché à faire fonctionner les télégraphes Morse avec des machines d'induction, et M. Hipp a construit un manipulateur tel, que le récepteur ne fonctionne que sous l'action du courant induit d'ouverture.

Mais on peut surtout augmenter la vitesse de transmission en composant les dépêches d'avance, par découpage, à l'emporte-pièce, d'ouvertures convenables dans la bande de papier, et on les fait se transmettre automatiquement. Cette dernière opération peut se faire avec une extrême vitesse; quant au découpage, il peut être facilité par un système mécanique analogue à celui des manipulateurs ordinaires.

Un autre perfectionnement consiste dans le déroulement automatique de la bande, ce qui permet au destinataire de s'absenter pendant la réception de la dépêche. On a proposé plusieurs systèmes pour arriver à ce résultat, qui, pratiquement, a une très faible importance.

Dans le récepteur ordinaire, les ressorts perdent peu à peu de leur action qui peut n'être pas en rapport avec l'intensité du courant. MM. Hault et Chassan ont exposé à Vienne (1873) un système de récepteur à noyaux mobiles et à réservoir circulaire encreur, dans lequel on évite cet inconvénient par le changement de position des noyaux de l'électro-aimant par rapport à l'armature; ce système permet, en outre, de régler la vitesse du déroulement, et contient une modification consistant dans le remplacement de la molette par un réservoir cylindrique conilé par deux tubes dont les ouvertures placées très près l'une de l'autre sont terminées par des lèvres circulaires formant tire-ligne.

On a essayé de diminuer le nombre de signes élé-

mentaires nécessaires pour les indications du télégraphe Morse, en faisant varier le sens du courant. Les signaux sont marqués par deux styles mis en mouvement par deux armatures aimantées, appliquées soit à l'appareil lui-même, soit à deux relais, et dont l'une ou l'autre est mise en mouvement suivant le sens du courant. L'alphabet est ainsi formé de points et de traits marqués sur deux lignes distinctes (v. ALPHABET); le nombre des émissions de courant est moindre que dans le système à un seul style; on peut, pour faciliter la distinction des lignes, imprégner les molettes d'encre de couleurs différentes. Cet appareil a été employé quelque temps en Bavière, mais s'est peu répandu, parce qu'il n'est pas d'une manœuvre plus rapide que le système usuel; la manipulation du double levier dont on doit alors se servir est difficile et rend l'appareil peu avantageux.

Récepteur Morse à armature polarisée de Siemens. — M. Siemens a construit un appareil récepteur Morse à armature polarisée destiné à fonctionner

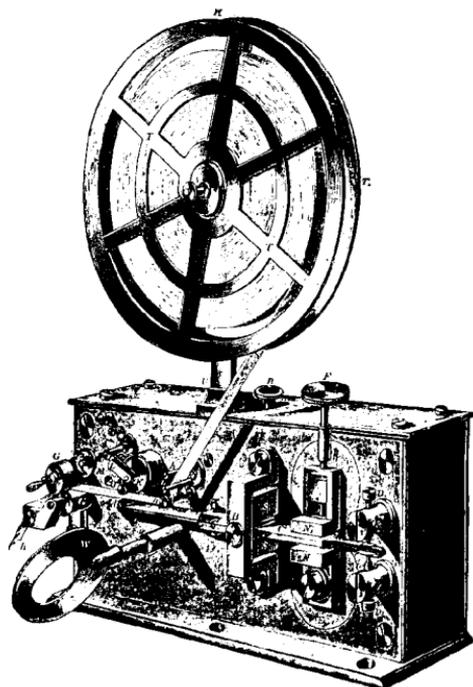


Fig. 20. — Récepteur Morse à armature polarisée de M. Siemens.

soit par les courants alternatifs produits par un manipulateur à système magnéto-électrique, soit par le manipulateur inverseur à deux touches servant

indifféremment pour la télégraphie sous-marin.

Les courants émis par ces deux sortes de manipulateurs sont alternativement positifs et négatifs, mais

d'égal durée; et on comprend facilement qu'il failait user d'un artifice pour produire sur la bande réceptrice des signaux d'inégales longueurs, tels que les points et les traits qui constituent l'alphabet Morse. Voici comment M. Siemens y est arrivé. L'appareil, au point de vue du mécanisme d'horlogerie, de l'entraînement du papier et du système imprimour, est exactement semblable aux récepteurs Morse ordinaires; la seule différence consistant dans la disposition de l'armature qui fait mouvoir le couteau destiné à sculver la bande de papier contre la molette garnie d'encre.

Cette armature C (fig. 20) est une fente pratiquée dans l'extrémité S d'un barreau aimanté dont elle subit l'influence magnétique. La partie de cette armature opposée au couteau D est placée entre deux blocs N et N', en fer doux, formant les deux pôles d'un électro-aimant dont on voit les bobines en EE.

Cet posé, si on envoie un courant de sens positif et si les bobines E sont enroulées de telle sorte que le bloc N prenne une polarité de nom contraire à celle de l'armature C, cette armature sera attirée et le couteau D soulèvera la bande de papier contre la molette imprimeuse J; le courant cesse immédiatement, mais comme la palette est aimantée elle restera dans la position où elle a été amenée et un trait continu se tracera sur la bande. Pour ramener la palette à la position de repos, il faudra donc envoyer un courant de sens contraire au premier. Il en résulte que pour faire un point il faudra deux émissions de courant, l'une positive, l'autre négative, se succédant immédiatement, tandis que pour faire une barre il suffit de séparer les deux émissions par un léger temps de repos.

Télégraphe de M. Estienne. — M. Estienne, se basant sur ce que la plupart des transmissions Morse sont inexactes et deviennent par suite très difficiles à traduire, a imaginé une modification des appareils actuels grâce à laquelle l'opérateur est dans l'impossibilité de transformer inconséamment un trait en un point ou réciproquement.

A cet effet, le point est remplacé par un demi-trait vertical et le trait longitudinal du Morse par un trait vertical. Chacun d'eux est imprimé par une plume spéciale agissant sous l'influence d'une des deux touches d'un manipulateur inverseur. La touche de gauche, qui émet un courant positif, produit le demi-trait; la touche de droite, qui émet un courant négatif, produit le trait. L'impression d'un signal n'exige pas une durée plus longue que le temps nécessaire à la formation du point Morse, c'est-à-dire que tous les courants sont brefs; ils doivent, autant que possible, être égaux, sans que cette condition soit indispensable, car l'inégalité des contacts a pour seul effet d'augmenter ou de diminuer, suivant le cas, l'épaisseur du signal sans jamais changer sa nature et sans nuire à sa lisibilité. Par le fait de l'impossibilité de détrancher les signaux la plus grande partie des erreurs télégraphiques disparaîtront.

L'alphabet Estienne a été indiqué au mot ALPHABET. Quant à la vitesse de la transmission, elle est supérieure à celle du télégraphe Morse puisque toutes les émissions de courant sont brèves.

M. Estienne a introduit des perfectionnements notables dans les plumes employées pour transmettre les signaux. Ces plumes se composent d'une carcasse en laiton en forme de T et d'une lamelle de peau enveloppant, dans le milieu et sur ses deux faces, la partie métallique. Les deux plumes ne diffèrent entre elles que par la largeur de la peau enveloppante; dans la plume du trait, la largeur est double de celle du demi-trait. La carcasse métallique n'est pas plate;

elle est légèrement cintrée, porte dans le bas une petite queue, recouverte par la peau, et a deux oreilles découpées de manière à laisser un évidement dans la partie inférieure. Ces évidements permettent de fixer solidement la plume sur les deux petits clous à tête plate portés sur les oreilles du porte-plume en acier.

Modification à faire subir aux appareils pour la transmission à courant continu. — Quand plusieurs postes secondaires sont desservis par un fil unique, on emploie souvent un mode de transmission spécial dit à *courant continu* qui permet de supprimer la pile dans quelques-uns des bureaux. Tantôt la pile se trouve à une seule des stations, tantôt elle est répartie entre plusieurs postes. Le récepteur est, à chaque station, intercalé dans le circuit général en même temps que le manipulateur, dont le levier est relié à l'un des côtés de la ligne et le butoir de repos à l'autre côté. On transmet dans les conditions ordinaires, en manœuvrant le manipulateur, qui rompt le circuit chaque fois qu'il est abaissé. Mais si les récepteurs avaient la forme ordinaire, les signaux seraient produits par les intervalles blancs séparant les traits et les points tracés par l'encre, et la lecture dans ces conditions offrirait des difficultés. On a donc été conduit à modifier le récepteur de façon que les signaux marqués sur la bande correspondent aux interruptions du courant. On y arrive en plaçant l'électro-aimant et l'armature entre le point de suspension du levier et le style imprimeur, qui se soulève sous l'action d'un ressort de rappel à chaque interruption.

Dans les pays où ce mode de transmission est en usage, on dispose les récepteurs de manière qu'ils puissent servir à volonté pour la transmission à courant continu et pour la transmission ordinaire. Ainsi, en Autriche, on remplit cette condition au moyen de deux armatures fixes au levier et d'un électro-aimant monté sur un chariot qu'on fait glisser sous l'une ou l'autre. Celle de ces armatures qui n'est pas en regard de l'électro-aimant est utilisée comme pivot; on la maintient au moyen de deux vis. Le ressort de rappel est placé entre les deux armatures; on en règle la tension suivant le mode de transmission dont on fait usage.

En Suisse, on prend la disposition suivante: le point de suspension du levier est fixe; les pôles de l'électro-aimant sont recourbés et forment deux plaques polaires disposées de façon que l'armature, petite et plate, fixée au levier, puisse se placer au-dessus pour le mode de communication ordinaire et au-dessous pour la transmission à courant continu. Quand l'armature est placée au-dessus des plaques polaires, elle se meut de haut en bas chaque fois que le courant traverse l'électro-aimant (transmission ordinaire); son mouvement est le même quand elle est placée au-dessous et que le courant est interrompu (transmission à courant continu). La position du couteau qui soulève le papier doit être modifiée ainsi que la tension des deux ressorts qui agissent en sens contraire sur l'armature (système Hipp), quand on passe de l'un à l'autre mode de transmission.

En Allemagne, tous les appareils de l'administration ont une disposition spéciale qui leur permet de s'adapter aux deux modes de réception. Le levier est divisé en trois parties: la première porte l'armature et est soutenue par l'axe d'oscillation; la seconde est un fort ressort fixé à la première partie, mais qu'on peut soulever ou abaisser un peu au moyen d'une vis; à l'autre extrémité de ce ressort se trouve un petit axe qui sert de pivot à la troisième partie, formée d'un petit bras terminé à l'autre côté par la molette; une goupille empêche ce bras de saïssir, de sorte que,

pendant la transmission ordinaire, la molette se soulève et imprime sur la bande lorsque l'électro-aimant est parcouru par le courant.

Quand on veut transmettre à courant continu, on amène l'armature au contact de l'électro-aimant, puis on fait mouvoir la vis de façon à abaisser le ressort jusqu'à ce que la molette ne laisse aucune trace sur le papier. A ce moment, le bras extrême vient s'appuyer en son milieu sur une seconde goupille fixée à la paroi de l'appareil; cette goupille forme pivot, et lorsque l'armature s'éloigne de l'électro-aimant, ce bras pivote en soulevant la molette, qui marque sur le papier des traits correspondant aux interruptions de courant.

Le manipulateur qui sert aux transmissions à courant continu a la forme ordinaire, mais le heurtoir sur lequel presse le levier quand on appuie sur la poignée est isolé. Pendant la transmission, il faut avoir soin de ramener toujours le levier à sa position de repos, pour que le circuit soit fermé après chaque signal; à cet effet, on ne donne ordinairement qu'un très faible jeu au levier.

Afin d'éviter les inconvénients qui peuvent résulter d'une manipulation délicate dans ce mode de transmission, M. Derewankine a disposé dans l'intérieur du levier, qu'on manœuvre à la main, une pièce de contact et un second petit levier qui, en venant s'appuyer sur le heurtoir fixé au socle du manipulateur, se soulève et rompt le circuit de la pile; ce circuit se rétablit spontanément dès qu'on relève la poignée, sans qu'on soit obligé de faire toucher au levier principal le second heurtoir. (*Rapport du jury de l'Exposition d'Electricité de Paris, 1884*).

Télégraphe automatique de Wheatstone. — Dans le but d'augmenter la vitesse de transmission et d'éviter que les émissions de courants sur la ligne, quand elles sont trop rapprochées, ne deviennent un obstacle à la production de signaux distincts, car dans ce cas il peut arriver que la ligne n'ait pas eu le temps de se décharger entre deux émissions trop voisines, et que par suite les deux traits produits sur la bande du récepteur soient confondus, M. Wheatstone a modifié les appareils télégraphiques Morse et a créé le système connu sous le nom de *télégraphe automatique*. En voici le principe.

Dans ce système, la transcription s'opère avec un manipulateur à trois leviers, dont l'action est de perforer une bande de papier se déroulant devant eux. Ces trois leviers forment deux groupes, celui du milieu avec un quelconque des extrêmes et celui du milieu seul. De toute façon, le levier intermédiaire travaille toujours, produisant une série de perforations continues et équilibrées, si la manipulation est régulière; l'un des autres leviers détermine deux perforations au-dessus et au-dessous de la perforation centrale; ces perforations sont toutes trois en ligne droite; l'autre levier en détermine deux également, mais en diagonale, par rapport à la ligne centrale. Les perforations en ligne droite servent à reproduire des points; celles en diagonale, des traits.

La bande de papier ainsi perforée est introduite dans l'appareil transmetteur et entraînée par un rouage dont une dent vient engrener dans la ligne centrale de perforation. La vitesse peut être réglée à volonté et peut atteindre au maximum 120 mots par minute.

Si on suppose maintenant que les deux postes en correspondance soient reliés par un circuit toujours fermé, et qu'une sorte de commutateur animé d'un mouvement régulier alternatif mette successivement à la terre les deux fils réunissant les piles aux appareils, on comprend que la ligne soit parcourue par une série de courants de même durée alternativement positifs et négatifs.

Le récepteur est un Morse à encreur très sensible dont l'électro-aimant est polarisé. L'armature de cet électro est construite de telle sorte que lorsqu'elle cesse d'être en contact avec les bobines, par suite d'une émission de courant, elle reste dans cette position jusqu'au passage d'un courant de sens contraire. Dans ces conditions, pour produire un point il faut un courant positif, très court par exemple, suivi immédiatement d'un courant négatif très court aussi. Mais si entre le passage de ces deux courants il s'écoule un intervalle de temps plus long que celui existant entre les deux émissions précédentes, l'armature restera plus longtemps dans la position où elle fait agir le couteau et on produira un trait. Il résulte de là que si rien ne venait régler l'émission des courants alternativement positifs et négatifs provenant du jeu du commutateur du poste transmetteur, le récepteur du correspondant imprimerait une suite continue de points. Mais un appareil auxiliaire vient régler le jeu de ce commutateur de façon à produire à certains moments une interruption entre deux oscillations successives. C'est cet appareil auxiliaire qui constitue le transmetteur proprement dit; il se compose essentiellement d'un balancier en ébonite mû par un rouage et animé d'un mouvement régulier alternatif (fig. 21 et 22). Ce balancier porte deux goupilles appuyées constamment sur les manivelles de deux leviers. Ces manivelles sont articulées avec deux tringles maintenues recilignes s'appuyant par leurs extrémités contre la bande de papier perforée. laquelle se déroule sous l'action du même rouage qui actionne le balancier.

Les tringles étant animées, ainsi que les leviers, d'un mouvement régulier de va-et-vient, et balant contre la bande, comme il a été dit plus haut, ne peuvent obéir à l'impulsion qui leur est donnée qu'autant qu'une perforation de cette bande laisse leur tête pénétrer au travers. Lorsqu'il n'y a pas de bande, le mouvement de va-et-vient des tringles a pour effet de lancer sur la ligne des courants alternativement positifs et négatifs; c'est ce qui se produit aussi lorsque les deux tringles rencontrant une perforation du papier en ligne droite passent à travers ce papier; alors le récepteur marque un point; mais si elles rencontrent une perforation en diagonale, le jeu des leviers est modifié et l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux émissions successives des courants se trouve ainsi modifié, sans que le sens de ces courants soit changé. Dans ces conditions, le récepteur marque un trait.

Perfectionnements apportés au système de télégraphie rapide de Wheatstone. — Dans une communication faite au mois de septembre 1887 à l'Association britannique pour l'avancement des sciences, à Manchester, M. W. H. Preece a donné le tableau suivant, qui fait ressortir les progrès réalisés par le système de télégraphie rapide de Wheatstone pendant ces dernières années :

ANNÉES.	MOTS par minute.	RAPIDITÉ de la transmission entre l'Angleterre et l'Irlande.
1870	80	50,3
1875	100	70
1880	200	150
1885	350	250
1887	600	462

Ces résultats, dit M. Preece, sont la conséquence du perfectionnement des appareils, de l'élimination

de l'INERTIE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE, de l'amélioration des circuits, de l'introduction des répéteurs à grande vitesse.

Voici quels ont été les principaux perfectionnements apportés aux appareils (Extrait du *Journal télégraphique de Berne*, année 1887, n° 12, vol. XI) :

1° Le PERFORATEUR imaginé par le célèbre mécanicien Stroh n'a pas subi de grandes modifications, mais on a simplifié et amélioré quelques-unes de ses parties. L'air comprimé a été appliqué à la perforation, qui est un travail mécanique assez dur. Cette application, combinée avec la construction de perforateurs à double pointe, permet de perforer 6 bandes à la fois et de réaliser ainsi une réduction considérable du travail dans la transmission des nouvelles de la presse, qui a atteint des proportions si colossales que le bureau central ou STATION CENTRALE de Londres a souvent expédié plus d'un million de mots en une soirée.

2° Le transmetteur est destiné à produire dans la ligne autant d'inversions de courants par seconde que le permettent le retard de propagation de l'électricité et l'INERTIE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE du circuit. Ces inversions sont des alternances rapides de courants positifs et négatifs; les premiers, appelés *courents de signaux*, forment des points; les seconds, appelés *courents d'espacement*, forment des traits. Quand le transmetteur travaille librement sans bande de papier pour le guider, ces courants circulent dans la ligne avec une fréquence dont la régularité est contrôlée par un régulateur excentrique inventé par M. Stroh. On peut ainsi régler le transmetteur pour un rendement de 14 jusqu'à 210 inversions par seconde, ce qui correspond à 600 mots par minute. Quand on insère dans l'appareil une bande de papier non perforée, un courant permanent va à la ligne, et l'action du contact électrique qui inverse le courant est entravée et empêchée; lorsque le papier est perforé, un point représente une inversion complète et un trait trois inversions complètes, mais celle du milieu est entravée par le papier; un intervalle signifie trois inversions complètes, qui sont toutes entravées par le papier.

Sous la forme primitive du transmetteur l'inversion était produite par une clef à double courant avec une pile. On modifia ce dispositif en 1883, et on introduisit l'usage d'une pile double ou divisée en plaçant la communication avec la terre au centre du système et en n'employant pour contacts que de simples buttoirs (fig. 21). On simplifia ainsi le mécanisme et on porta la rapidité de transmission possible du fonctionnement de 48 inversions par seconde ou 120 mots par minute à 120 inversions ou 300 mots par minute. En 1888, on se dispensa de la pile divisée en adoptant une nouvelle forme de contact du même genre, mais ne nécessitant qu'une seule pile, et la fréquence possible des inversions fut augmentée jusqu'au nombre de 240 représentant une vitesse de transmission de 600 mots par minute (fig. 22). Pour obtenir une pareille rapidité il faut avoir des appareils parfaitement construits.

Enfin, comme il se produisait des perturbations dues à des étincelles jaillissant aux points de contact (ces étincelles désagrégeaient le métal), on a remédié à cet inconvénient en disposant de petits condensateurs de 1/10 de MICROFARAD de capacité, ainsi que le montre la fig. 23, et en mettant le galvanomètre hors de circuit pendant que le transmetteur est en activité.

En effet, la production des étincelles est principalement due à la présence de l'inertie électromagnétique dans l'appareil ou SELF-INDUCTION.

3° Le récepteur a reçu de profondes modifications,

tant au point de vue électrique qu'au point de vue mécanique. On a remplacé le ressort moteur par un poids qui assure un mouvement plus rapide et plus uniforme pour les transmissions à grande vitesse. On a adjoint à l'appareil un régulateur perfectionné. Enfin, l'introduction d'un électro-aimant dans une ligne télégraphique constituait une obstruction au pas-

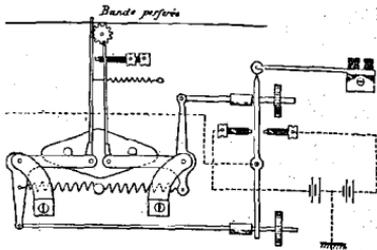


Fig. 21.

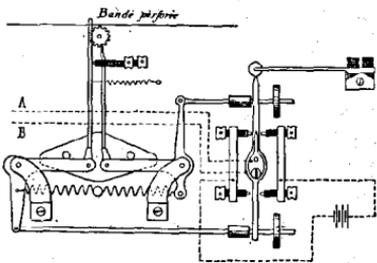


Fig. 22.

sage des courants, surtout quand ces derniers se produisent avec des intermittences rapides ou quand ils sont rapidement alternés. M. Preece a combattu les effets de self-induction et a, par suite, augmenté le

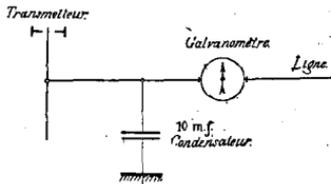


Fig. 23.

rendement de la transmission en introduisant dans le circuit un condensateur shunté. (V. SELF-INDUCTION.)

Il a, de plus, augmenté dans une grande mesure le rendement de l'appareil fonctionnant sur de très longues lignes par l'emploi d'un relais très sensible qu'il appelle *répétiteur à grande vitesse*. Cet instrument, dont on n'a pas publié de description, remplit à lui seul les fonctions électriques de deux transmetteurs et de deux récepteurs. C'est un mécanisme très

compliqué. On fait en Angleterre un très grand usage de ces répéteurs. En 1888, il y avait en service 401 répéteurs disposés de façon à pouvoir être employés à volonté pour les appareils automatiques ou pour des appareils à clef ordinaires de même que pour la transmission simple ou duplex de quelque genre que ce soit. D'après M. Preece, « l'introduction et l'emploi des condensateurs shuntés ont fait époque dans l'évolution de la télégraphie ».

2° Télégraphes electro-chimiques. —

Les télégraphes à signaux permanents comprennent encore les appareils simplement electro-chimiques, dans lesquels le courant laisse sa trace sur le papier imprégné d'une substance qu'il décompose. Pour que ce papier soit conducteur, on le trempe dans une dissolution d'azotate d'ammoniaque. La matière décomposable peut être le cyanure de potassium, qui en présence d'une pointe de fer donne, sous l'action du courant, du bleu de Prusse, et en présence d'une pointe de cuivre, du cyanure rouge de potassium et de cuivre. C'est à M. Bain qu'est due la première application pratique de ce procédé. Le papier tourne en présence d'un style métallique sous l'action d'un mouvement d'horlogerie. Le manipulateur et l'alphabet sont ceux du télégraphe Morse. Le papier offre assez de résistance au passage du courant pour qu'une pile de Daniell d'une dizaine de couples soit nécessaire. Cet appareil a servi de point de départ aux systèmes autographiques.

Parmi les appareils electro-chimiques reproduisant les signaux Morse ordinaires, il convient de citer le télégraphe de MM. Chauvassaignes et Lambriqui, qui a fonctionné avec succès en 1863 sur la ligne de Paris à Tours. La préparation du papier se produit mécaniquement au moment de l'impression au moyen d'un pinceau imprégné de la dissolution saline qui frotte sur la bande parcourue par le style en fer. Les signaux Morse à transmettre sont tracés sur une bande de papier métallique à l'aide d'une légère couche d'une matière isolante. A cet effet, on fait dérouler cette bande au-dessous d'un petit tube aboutissant à un réservoir rempli de résine maintenue en fusion, contre lequel elle est soulevée par un levier semblable au manipulateur Morse. Pour transmettre, on fait passer la bande ainsi préparée entre un cylindre métallique relié à la terre et un style en relation avec le pôle positif de la pile et avec la ligne. Quand le style passe sur le métal, le circuit est fermé localement, et lorsqu'il passe sur la résine, le courant est envoyé au poste correspondant.

M. Goodspeed a imaginé un appareil dans lequel la confusion des signaux qui se suivent trop rapidement est atténuée par l'emploi de courants alternativement positifs et négatifs. Au point d'arrivée, deux pointes de fer rapprochées, reliées l'une à la terre, l'autre à la ligne, appuient sur la bande de papier préparée, et laissent l'une ou l'autre une trace suivant le sens du courant reçu; elles sont disposées pour que ces traces se trouvent sur deux lignes parallèles. Au point de départ, une bande de papier est perforée suivant deux lignes de trous qui représentent les signaux et se déroule entre un cylindre relié à la ligne et deux frotteurs en relation l'un avec le pôle positif d'une pile et l'autre avec le pôle négatif d'une deuxième pile, les pôles non reliés aux frotteurs étant à la terre. La bande, en se déroulant, présente les trous en regard des frotteurs et met la ligne en communication avec l'une ou l'autre des piles. Les trous se succèdent sur la bande de telle sorte qu'entre deux émissions successives il n'y ait pas d'intervalle sensible. Les signaux sont les mêmes que ceux du

Morse et on les groupe dans l'ordre où ils se suivent, sans tenir compte de la ligne sur laquelle ils se trouvent; on sépare les lettres et les mots par des traits plus longs. Avec ce système, les éléments d'une même lettre se succèdent sans interruption, ce qui contribue à accroître notablement la vitesse. La bande se découpe au moyen d'un perforateur spécial. Chaque point est représenté par un trou et chaque trait par deux. Les deux signaux successifs envoyés pour la formation des traits se confondent à l'extrémité de la ligne et produisent une seule marque sur la bande de papier préparé. Cette disposition, qui atténue la charge électrique du fil conducteur, est avantageuse au point de vue de la vitesse de transmission. (*Rapport du jury de l'Exposition d'Électricité de Paris, 1881*).

3° Appareils imprimeurs. —

Du télégraphe de Morse, imprimant lui-même à l'écure des signes alphabétiques spéciaux, on devait nécessairement passer à l'idée d'appareils imprimant directement des caractères alphabétiques ordinaires, de façon à rendre la dépêche immédiatement intelligible au public et à éviter les erreurs de transcription. Les appareils imprimeurs peuvent se diviser en deux systèmes distincts. Tous deux ont dans le récepteur une roue qui porte en relief les caractères de l'alphabet et qui se nomme *roue des types*; mais dans les appareils à échaappement cette roue est mise en mouvement par les émissions du courant, comme l'aiguille des appareils à cadran ordinaires, chaque passage la faisant tourner soit directement soit par l'action d'un mouvement d'horlogerie. Dans les appareils à mouvements synchroniques on trouve, au contraire, deux roues, l'une au manipulateur, l'autre au récepteur, tournant ensemble de façon que les caractères soient toujours semblablement placés; le courant fait s'appuyer contre la lettre à indiquer le papier récepteur.

Télégraphes imprimeurs de Wheatstone, de Du Moncel et de Digney. — En 1840, M. Wheatstone avait imaginé un appareil à échaappement dans lequel il y avait un manipulateur à cadran. La manivelle, placée en face d'une lettre, amenait, grâce au courant, la même lettre de la roue des types en face du marteau presseur; pendant l'arrêt, le courant passait par un second fil et produisait le mouvement du marteau et l'avancement du papier. On avait ainsi l'inconvénient d'être obligé de se servir de deux fils pour transmettre un seul signal, et on a cherché à supprimer cette difficulté. Il a suffi de placer en face des électro-aimants du récepteur des armatures aimantées qui sont alternativement attirées suivant le sens du courant; le manipulateur a été modifié de telle sorte qu'un commutateur envoie un courant de sens contraire au courant normal lorsque la manivelle se case en face de la lettre à transmettre; ce changement peut même être produit sans l'emploi d'un commutateur. Plusieurs appareils imprimeurs, notamment ceux de MM. Du Moncel et Digney, reposent sur ce principe.

Télégraphes imprimeurs de Siemens et de Bréguet. — D'autres savants ont appliqué des dispositions fondées sur l'influence de la durée du courant, et qui peuvent être ajoutées aux appareils à cadran en les remplaçant des pièces nécessaires pour l'impression.

On s'appuie sur ce que l'aimantation par l'action d'un courant est plus ou moins complète suivant la durée de l'action. Un courant rapide peut alors aimanter un électro-aimant de faibles dimensions qui fait mouvoir la roue des types, sans agir sur un électro-aimant plus gros qui commande la pression; ce

dernier peut même être seul employé; dans ce cas une faible durée du courant l'aimantera en partie, il se déplacera et fera tourner la roue des types; une longue durée l'aimantera complètement, il se déplacera davantage et agira sur le mécanisme imprimeur. Le premier système est dû à Siemens, le second à Bréguet.

Télégraphes imprimeurs de Housse et de Brett. — Dans l'appareil Housse, le premier qui ait été employé à Philadelphie et à New-York, en 1849, et dans l'appareil Brett, le marteau imprimeur est mis en mouvement par une disposition purement mécanique et sans l'intervention de l'électricité.

Dans l'un et l'autre de ces systèmes, l'impression est commandée par un couteau qui se meut en s'appuyant toujours contre des chevilles placées sur la roue des types et en nombre égal à celui des lettres; quand la roue s'arrête, le couteau s'intercale et la détente de l'impression se produit.

Les appareils à échappement sont d'un rendement imparfait, principalement à cause de la masse de la roue des types et aussi à cause du nombre très grand d'émissions et d'interceptions nécessaires à la production d'un seul signe.

Télégraphe imprimeur de MM. Gaussain et Moulleron. — MM. Gaussain et Moulleron ont cherché à augmenter la vitesse par la répartition des caractères sur cinq roues moins massives, mais leur système conduit à une assez grande complication.

Télégraphe imprimeur de M. Dujardin. — M. Dujardin a formé la roue des types d'une feuille mince en aluminium, sur le pourtour de laquelle les lettres sont brodées en colon; elles reçoivent l'encre d'un godet et marquent des caractères suffisamment nets.

À l'Exposition d'Électricité de Paris, en 1881, figuraient deux modèles de l'appareil imprimeur de M. Dujardin :

1^{er} modèle. — La roue des types est commandée par une armature polarisée oscillant entre les deux pôles d'un électro-aimant sous l'action d'émissions de courant successives et contraires qui ont lieu sans interruption. Une deuxième armature très légère, en fer doux, est constamment attirée par cet électro-aimant; elle s'éloigne dès que le courant est interrompu pendant un instant; il se produit alors un contact qui ferme un circuit local par l'intermédiaire de l'électro-aimant imprimeur.

2^e modèle. — Le marteau se meut quand, par suite de l'arrêt de la roue des types, une pièce s'enfonce entre les dents d'une roue fixée au même axe.

Télégraphe imprimeur de Siemens. — Les appareils précédents exigent des manipulateurs spéciaux, envoyant le courant par une série d'interruptions du circuit; on a songé à employer des récepteurs à trembleur, interrompant eux-mêmes le courant. Siemens a modifié son appareil à cadran dans ce but, en y remplaçant l'aiguille indicatrice par une roue des types horizontale.

Télégraphe imprimeur de D'Arincourt. — D'Arincourt a construit un télégraphe à cadran imprimeur dans lequel la réception est à trembleur, et l'appareil comprend deux mouvements d'horlogerie: l'un d'eux commande une aiguille indicatrice, la roue des types et une roue interruptrice; l'autre agit pour l'impression. Cet appareil est délicat et d'un mécanisme compliqué, mais il a donné de bons résultats dans quelques applications; il convient plutôt aux lignes de faible longueur, car il exige un grand nombre d'émissions pour cinq lettres.

Parmi les appareils imprimeurs à cadran, nous citerons encore ceux de MM. Chambrier, de Baillehache, Hayet, Bigeon, Gatget et Bugnaud, Van der Ploeg et Higgins, qui figuraient à l'Exposition d'Électricité de Paris en 1881.

En voici une description sommaire :

Appareil Chambrier. — Une roue à rochet fixée sur l'axe de la roue des types soulève une goupille dépendant d'un levier articulé. Cette goupille ne retombe complètement qu'au moment de l'arrêt. Tant que le levier est soulevé il ferme un circuit local; quand il s'abaisse, il le rompt et un électro-aimant attire alors une armature qui fait mouvoir un petit marteau lequel presse la bande contre la roue des types.

Appareil de M. de Baillehache. — Ce système, analogue au précédent, n'a un manipulateur à manivelle de la forme de ceux du télégraphe à cadran de Bréguet. En le tournant on envoie sur la ligne des courants alternatifs sans interruptions sensibles. Quand on enfonce la manivelle dans un cran, on rompt la communication de la pile avec la ligne. Dans le récepteur la roue des types est commandée par une armature polarisée oscillant entre les deux pôles d'un électro-aimant; une seconde armature en fer doux est attirée et reste dans cette position malgré les inversions de courant. Dès qu'il y a interruption de courant au poste transmetteur, cette armature s'éloigne et dégage le mécanisme imprimeur.

Appareil de M. Hayet. — Il est construit sur le même principe que le précédent; seulement, dans le but d'éviter le déclenchement intempestif du système imprimeur et par suite la production de lettres de trop qui pourrait causer une durée trop longue d'interruption du courant, M. Hayet a enroulé sur la bobine de l'électro-aimant deux fils, dont l'un fait partie du circuit général et l'autre est fermé sur lui-même, de sorte que les courants induits produits dans ce dernier par les ruptures aussi bien que par les émissions de courant servent à maintenir l'armature de fer doux attirée pendant l'intervalle qui peut séparer le passage du courant positif au courant négatif et réciproquement.

Appareil Bigeon. — Le manipulateur est un clavier circulaire au centre duquel tournent une roue et une aiguille fixées au même axe. Ces deux organes se mettent en mouvement dès qu'on abaisse une touche et ils s'arrêtent lorsque l'aiguille arrive en regard de cette touche. Dans le récepteur le mécanisme imprimeur est commandé par la chute d'un levier entre les dents d'une roue au moment de l'arrêt; la chute de ce levier est retardée par un volant.

Appareils Gatget et Bugnaud. — Dans l'un de ces appareils le contact qui ferme le circuit local et fait marcher le mécanisme imprimeur est obtenu par une petite sphère métallique qui oscille tant que la roue des types est en mouvement et pénètre, à l'arrêt, dans une petite encoche conique. M. Bugnaud emploie un style dont les vibrations, en s'arrêtant avec la roue des types, déterminent un contact et produisent l'impression. Ces deux appareils (dit M. Blavier dans le Rapport du jury de l'Exposition de 1881, auquel nous empruntons ces notes) n'ont donné que des résultats médiocres.

Appareil Van der Ploeg. — Dans cet appareil le mouvement de rotation de la roue des types peut s'effectuer dans les deux sens, au moyen de deux électro-aimants agissant l'un ou l'autre suivant la

direction du courant reçu. Le manipulateur, qui consiste en un curseur à marche rectiligne, envoi, quand on le manœuvre, une série de courants positifs ou négatifs. A chaque changement de marche de ce curseur, un commutateur inverse le sens du courant.

Appareil Higgins. — Ce système est employé à Londres pour la transmission simultanée des nouvelles de Bourse à des abonnés. Il existe deux fils; mais dans le cas considéré ce n'est pas un inconvénient sérieux, étant donné le peu de longueur de la ligne. Le manipulateur unique placé au point de départ se compose d'un cliavier circulaire et d'un mouvement d'horlogerie qui fait tourner une aiguille en face d'un cadran et une roue qui émet des courants de sens alternés. Quand on abaisse l'une des touches

du clavier, l'aiguille s'arrête au moment où elle arrive en face de ladite touche et un courant est envoyé dans le second fil. Quant aux récepteurs placés chez les abonnés, ils comprennent chacun une roue des types mise en mouvement par un électro-aimant relié au premier fil.

Le second fil est en relation avec un électro-aimant qui agit, quand il est traversé par un courant, sur un levier, lequel vient appuyer le papier contre la roue des types et fait en même temps avancer la bande.

Pour établir la concordance entre l'aiguille du manipulateur et les roues des types des récepteurs, on dispose le mécanisme de telle sorte que ces roues soient automatiquement arrêtées dans une position fixe correspondant au filac, quand on reste quelque temps sans abaisser une touche.

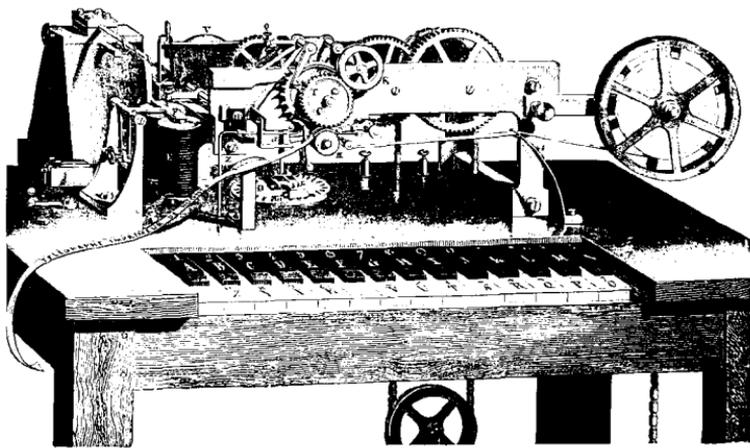


Fig. 24. — Vue d'ensemble du Télégraphe imprimeur de M. Hughes.

M. Postel-Vinay avait installé à Paris un certain nombre de ces appareils qui recevaient les dépêches d'un poste central situé à la Bourse et, au lieu de piles, on employait le courant d'une petite machine magnéto-électrique Gramme n'exigeant qu'une force d'un cheval-vapeur.

Télégraphe imprimeur de M. Hughes. — Tous les appareils décrits plus haut ont le grand inconvénient d'arrêter la roue des types à chaque transmission, ce qui ralentit la vitesse des communications. Le premier appareil à transmission continue est dû à M. Hughes (1835). Ce professeur américain songea à supprimer tout temps d'arrêt en imprimant les lettres instantanément. Il suffisait, en effet, de profiter du petit temps d'arrêt nécessaire à la désignation de ces lettres par le courant, pour en produire immédiatement l'impression sur une bande de papier pressée au instant contre la lettre sans que la régularité de la marche de l'appareil fût jamais altérée. Du reste, M. Hughes rétablit à chaque instant cette régularité au moyen d'organes spéciaux. Le tout est réglé par la rotation d'un pendule conique.

La fig. 24 donne la vue générale en perspective de l'appareil Hughes (ancien type).

Un rouleau entrecroisé humecté à chaque instant la roue des types.

Le manipulateur est un cliavier disposé sur une table horizontale. Le rouleau imprimeur est formé d'une enveloppe de caoutchouc adaptée entre deux roues de fer à dents très fines, destinées à entraîner la bande de papier à mesure que le rouleau tourne.

Les différentes touches du clavier communiquent avec les différents *goujons* ou lames métalliques formant les trous d'un disque horizontal; sur ces trous se promène le bras horizontal ou *chariot* d'un axe vertical; les goujons sont reliés à la pile, le chariot à la ligne. Chaque fois qu'une touche s'abaisse, le goujon correspondant se soulève et se met en contact avec le chariot, un courant s'établit et passe dans la ligne.

L'axe vertical du chariot, celui de la roue des types et l'axe du mécanisme imprimeur sont dirigés par le même mouvement d'horlogerie. La concordance entre les deux extrémités de la ligne est établie sur le récepteur par une roue qui anime un caractère de la roue

des types en face du marteau, pourvu que l'écart ne soit pas plus grand que la molliété de l'espace séparant deux lettres. Chaque transmission commence par l'abaissement d'une touche de convention (*blanc* ou *croix*) ; le courant transmis au récepteur fait partir la roue de cet instrument qui se trouve d'accord avec le manipulateur.

Le clavier est formé de touches alternativement blanches et noires; elles sont au nombre de vingt-huit et portent les vingt-six lettres de l'alphabet et deux blancs, dont l'un sert pour le commencement de toute transmission, l'autre pour l'envoi des chiffres. Les lettres se suivent dans l'ordre naturel, en commençant par les touches noires et en revenant par les touches blanches; chaque goujon représente un caractère spécial et leur ordre est le même que celui des caractères de la roue des types. Le moteur doit être susceptible de donner une assez grande vitesse à l'ensemble malgré le mouvement intermittent de l'axe imprimeur; celui-ci est, en effet, divisé en deux parties; l'une tourne constamment, l'autre ne participe au mouvement qu'au moment où le courant traverse l'électroaimant, et ne décrit qu'une révolution à chaque transmission.

Le moteur est un poids pesant de 50 à 60 kilogrammes, qui met environ dix minutes à descendre de 1 mètre. Un volant sert à régulariser la vitesse, mais il ne permettrait pas d'obtenir à volonté aux deux extrémités de la ligne le même mouvement de rotation. Après s'être servi d'une lame vibrant longitudinalement, sonore et peu commode, M. Hughes s'est arrêté à l'emploi d'une lame vibrante elliptique.

La marche de l'appareil Hughes est simple et facile à comprendre. Les appareils placés au départ et à l'arrivée étant sensiblement synchrones, les poids sont remontés, l'axe du manipulateur tourne. L'employé transmetteur appuie sur la touche blanche; dans le récepteur, l'arbre à impression se met à tourner rapidement, le papier est soulevé contre la roue des types et ne reçoit aucune impression, puisqu'il est en face d'un vide. Après une révolution, le mouvement d'impression revient au repos, l'axe du manipulateur continue à tourner; les mêmes phénomènes se passent ensuite pour la première lettre transmise; le papier placé en face de cette lettre en reçoit l'impression; pour séparer les mots, on touche blanc; le papier avance sans être imprimé. A la fin de chaque dépêche, on ramène dans les deux postes la roue des types au blanc. La vitesse de transmission dépend de la vitesse avec laquelle on peut faire tourner les rouages et de certaines conditions particulières. D'une part, en effet, on ne peut transmettre de courant qu'à des intervalles au moins égaux à la durée de la révolution de l'arbre imprimeur. D'autre part, pendant cette révolution le chariot tourne de $\frac{1}{7}$ de tour, et est, par suite, sur le quatrième goujon suivant; on ne peut donc dans le même tour du chariot envoyer que des lettres séparées par 4 lettres au moins l'une de l'autre, de sorte qu'après avoir envoyé une lettre la suivante ne pourra être que la cinquième (4+1), 6* (4+2)..... ou enfin la 32* (4+28).

Comme les lettres se suivent dans un ordre quelconque l'intervalle réel moyen qui séparera 2 lettres pouvant être envoyées consécutivement est, par suite, $\frac{5+32}{2}$ ou 18,5; on transmet donc, en moyenne,

$\frac{28}{18,5} = 1$ lettre 54 par tour du chariot. La vitesse réelle de cet instrument étant, au plus, de 120 tours par minute, nous aurons pour cette durée 185 lettres. Chaque mot se composant, en moyenne, de 6 signes,

en comptant le blanc, ou arrive à une vitesse de 31 mots, qui est facilement atteinte par les bons employés. Pour les lignes de 400 à 500 kilomètres, la vitesse de 120 tours est convenable; mais on doit la réduire à 90 tours environ lorsque la ligne atteint 600 à 700 kilomètres de longueur. Pour les lignes sous-marines, on doit abaisser la vitesse à 18 ou 20 tours par minute, par exemple.

M. Hughes a pu faire imprimer à son appareil les chiffres et tous les signes qui peuvent se rencontrer dans le texte, sans augmenter le nombre des touches du clavier et celui des goujons. Il lui a suffi de ne pas relier invariablement à la roue correctrice la roue des types et de partager celle-ci en cinquante-six divisions; sur celles des rangs pairs sont les lettres, sur celles des rangs impairs les signes divers, dans l'ordre où ils sont marqués sur le clavier. Il suffit alors de déplacer la roue des types de $\frac{1}{56}$ de tour pour qu'elle imprime des chiffres après avoir imprimé des lettres, ou inversement. C'est en abaissant l'un des blancs qu'on imprime à la roue le déplacement nécessaire.

Ces appareils fonctionnent encore dans plusieurs pays pour la télégraphie privée. Les employés découpent les dépêches par bandes, qui sont collées les unes au-dessus des autres sur des feuilles à entête imprimé, que l'on remet aux destinataires. L'appareil Hughes a reçu en 1875 quelques perfectionnements de détail; l'un, dû à des agents spéciaux de l'administration française, consiste dans le déclenchement automatique du récepteur; un autre est l'adjonction d'un frein commutateur, construit d'après les avis de M. Boulard; ce frein fonctionne automatiquement et permet de faire au récepteur des appels successifs, dans le cas où le premier appel étant resté sans réponse le déclenchement qui en résulte empêche la répétition d'appels ultérieurs. Enfin, le rendement du système peut être augmenté par la transmission automatique de M. Girardon, qui compose d'avance les dépêches dans un compositeur à cadran; les lettres, enlevées à l'emporte-pièce, passent sous un contact avec un mouvement de translation égal à la rotation du chariot; le courant passe à chaque trait et on atteint alors la vitesse maxima de transmission du système.

Télégraphe imprimeur de Olsen. — Le but de M. Olsen est d'augmenter notablement la vitesse de l'axe de la roue des types en réduisant de moitié le nombre des dents de la roue correctrice. A cet effet, M. Olsen a employé les deux sens du courant pour la transmission, les touches paires envoient le courant positif, les touches impaires envoient le courant négatif.

La roue correctrice ne porte que quinze dents; l'espace entre deux dents consécutives correspond à deux lettres dont l'une s'imprime avec le courant positif et l'autre avec le courant négatif. Cet effet est obtenu au moyen de deux came correctrice et qui viennent le même arbre que la came correctrice et qui viennent, l'une ou l'autre presser le marteau ou cylindre imprimeur contre la roue des types, suivant le sens du courant, de façon à imprimer l'une les lettres de rang pair, l'autre les lettres de rang impair.

Télégraphe imprimeur de Rouvier. — L'appareil de M. Rouvier repose sur les mêmes principes que celui de M. Olsen; l'agencement du mécanisme seul diffère. Ces appareils ont été essayés en 1878 sur les lignes de Paris à Lille et de Paris à Nîmes.

Le télégraphe Olsen permettait d'expédier 85 dépêches de 20 mots en une heure; le télégraphe Rouvier avait un rendement de 80 dépêches, soit $\frac{1}{3}$ de plus que celui de l'appareil Hughes.

Mais, malgré cet avantage, ni l'un ni l'autre des systèmes télégraphiques n'a été adopté, à cause de leur complication et parce que les employés les plus habiles ne peuvent pas tirer tout le parti des ressources qu'ils offrent.

III. — Télégraphes enregistreurs autographiques.

Dans toutes les descriptions qui précèdent, on a vu le télégraphe donner des lettres ou des signaux de convention sous une influence toujours la même et avec des formes invariables pour chaque désignation; avec les télégraphes dits *autographiques*, cette forme fixe des signaux n'est plus indispensable. Une ligne quelconque, un contour, un dessin, l'écriture de la personne qui envoie une dépêche, peuvent être exactement reproduits, et cela avec une vitesse relativement considérable.

L'idée première de ces sortes de transmissions est due à M. Bain, qui l'a appliquée dans son télégraphe électro-chimique. Le principe de tous ces appareils est la décomposition, sous l'influence d'un courant électrique, d'un sel métallique, ou sa transformation en un sel coloré, s'il est incolore. C'est M. Backwell qui a le premier exécuté un appareil de ce genre et montré des spécimens de reproductions autographiques par l'électricité. Une dépêche ainsi écrite figurait à l'Exposition de Londres de 1851.

Télégraphe enregistreur autographique de Backwell. — M. Backwell se servait d'une feuille de papier métallique sur laquelle on écrivait avec une encre isolante et il faisait passer sur cette feuille une pointe métallique qui décrivait une série de lignes parallèles très rapprochées. Quand cette pointe passait sur l'encre isolante, le courant était interrompu. Qu'on imagine alors un récepteur formé d'une feuille de papier humectée de cyanure de potassium, sur laquelle se promène un style en fer dont les mouvements soient absolument identiques à ceux du style transmetteur; lorsque le courant passera, une ligne bleue sera tracée sur le récepteur et des blancs formeront les lignes transmises correspondant aux endroits où le courant a été interrompu par l'encre isolante.

Si le principe de ce système télégraphique est simple, sa mise en application présente des difficultés. Dans le télégraphe Backwell, le tracé parallèle qui devait couvrir la dépêche s'obtenait par le mouvement de rotation rapide d'un cylindre sur lequel était enroulé le papier métallique, combiné avec le mouvement lent du style suivant une génératrice, de façon que les spirales obtenues fussent aussi rapprochées que possible. Ce système n'était pas pratique, et il a fallu dix années d'études pour arriver à un système donnant de bons résultats. C'est à l'abbé Caselli qu'il faut attribuer le succès de cette entreprise. Il a exposé ses appareils, sous le nom de *télégraphes*, aux Expositions universelles de Londres (1862) et de Paris (1867).

Pantélégraphe de l'abbé Caselli. — L'organe principal de son appareil est un pendule long d'environ 2 mètres et très pesant, AB (fig. 25). La masse de fer B est alternativement attirée par deux électro-aimants, M et N. Le passage du courant dans les électro-aimants est réglé par un appareil chronométrique indépendant du télégraphe. A toutes les stations sont des chronomètres pareils, convenablement réglés, qui assurent un synchronisme parfait des oscillations de tous les pendules tels que AB. Deux battoirs *x*, *y* limitent l'amplitude des oscillations. En *a* s'accrochent deux bras de levier, tels que

ab; en *b* est articulé un levier *bcd*, mobile autour de *c*; en *d* est attaché un style *s*, qui décrit des arcs de cercle d'un mouvement circulaire alternatif autour de *c* comme centre. Il se promène ainsi sur la surface cylindrique d'un transmetteur *mn*, sur lequel on a mis la feuille métallique écrite avec l'encre isolante. Symétriquement est placé un système analogue *ab'c'd's'* pour servir à la réception des dépêches. On accroche l'extrémité *a'* au pendule AB quand il y a lieu de mettre le récepteur en marche. Ce dernier *m'n'* est plus petit que le transmetteur *mn*, afin que les hautes se trouvent plus courtes et plus serrées, ce qui, en rapetissant un peu l'écriture ou le dessin, lui donne plus de netteté.

Le télégraphe Caselli, ainsi construit primitivement, a subi de la part de son auteur plusieurs perfectionnements ou simplifications. C'est ainsi que l'on a sup-

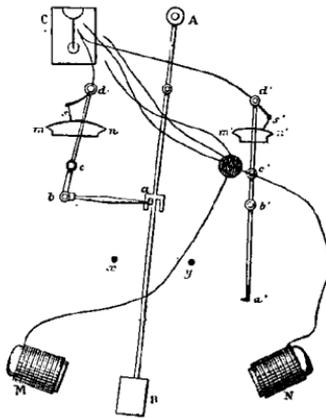


Fig. 25.

primé le récepteur spécial *m'n'*; le même appareil *mn* sert à la fois à l'envoi et à la réception.

Les mécanismes qui assurent la régularité et le synchronisme des appareils sont assez délicats et compliqués; nous ne les décrivons donc pas. Cinq ou six pointes en fer avance parallèlement à elle-même à chaque demi-oscillation, de manière que les traits ne se superposent pas. Dans le principe, les feuilles métalliques sur lesquelles on écrivait étaient formées d'une légère couche d'argent appliquée sur le papier; on s'est servi ensuite de feuilles d'étain collées sur gros papier. L'encre employée doit être isolante et siccatrice; l'encre ordinaire convient assez bien; on la rend plus isolante par l'addition d'une petite quantité de gomme. Les traits doivent être fortement accusés et assez espacés. Les feuilles de réception sont en papier glacé, imprégné d'un bain électro-chimique de cyanoferrure de potassium. Un inconvénient de ce système est souvent le peu de coloration des hautes obtenues; en outre, l'écoulement du fluide électrique continue à l'arrivée après que la pointe métallique a quitté chaque trace isolante au départ, et cela avec d'autant plus d'intensité que la ligne est plus grande. Aussi les hautes manquent de netteté.

La dépêche se trouve finalement reproduite en lettres blanches sur un fond bleu. Mais par un simple changement de communication on peut produire l'émission du courant sur la ligne au moment du passage du style sur l'encre isolante. On obtiendrait ainsi l'impression bleue sur fond blanc en intercalant sur la ligne, à l'arrivée, un relais qui fermerait le circuit d'une pile locale, comprenant le style et le papier chimique du récepteur, lorsque la palette est au repos; ce relais interromprait le courant local quand la palette serait déplacée par le courant de la ligne; ce procédé, proposé par l'abbé Caselli, est suffisant.

M. Lambrigo, qui a apporté plusieurs améliorations à ce système, a remarqué que la feuille d'étain placée sous le papier électro-chimique était légèrement décapée, par réduction de l'eau qui tient le papier humide, aux places correspondant aux lettres reçues. Il est facile de faire apparaître en blanc les traces de ce décapage en plongeant la feuille dans une décoction de noix de galle; les traits se transforment en gallate blanchâtre d'étain; la feuille, plongée ensuite dans un sel de protoxyde de fer, prend aux mêmes points la couleur de l'encre ordinaire.

La vitesse de transmission de l'appareil Caselli dépend des oscillations de la pointe traçante, de son déplacement latéral et de la finesse de l'écriture. On a pu arriver, dans des conditions exceptionnelles, à une transmission de 60 dépêches de 20 mots par heure; une vitesse usuelle de 35 dépêches est un maximum.

L'appareil a d'abord été expérimenté de Paris à Amiens, puis de Paris à Lyon, avec succès (1863). Il a été mis à la disposition du public en France, et peut être considéré comme offrant un assez grand nombre d'avantages pratiques; cependant le public ne les a pas appréciés. L'exploitation, interrompue par les événements de 1870, n'a jamais été reprise depuis.

Télégraphe enregistreur autographique de M. Meyer. — M. Meyer se proposa de substituer à l'impression électro-chimique l'impression à encre ordinaire et, en outre, de simplifier la disposition de l'appareil Caselli, qui est compliqué, lourd et encombrant. Deux organes caractérisent le système Meyer: l'impression, à l'aide d'une hélice reproductrice en fillet de vis triangulaire sur le pourtour d'un cylindre à la longueur duquel son pas est égal; le synchronisme, qui est obtenu à l'aide d'un pendule conique à tige élastique. Au manipulateur, le cylindre, animé d'un mouvement de rotation, tourne de manière qu'à chaque instant un seul point de l'hélice soit en contact avec une feuille d'étain sur laquelle est inscrite la dépêche; à l'autre poste, l'hélice d'un pareil cylindre frotte à chaque instant contre un tampon qui l'imprègne d'encre et se trouve à une très faible distance d'une feuille de papier blanc; à chaque tour du cylindre correspondant les feuilles avancent d'une fraction de millimètre. Les deux cylindres se meuvent synchroniquement, de telle sorte que le point de l'hélice en contact avec l'étain au manipulateur correspond au point de l'hélice du récepteur voisin du papier. Le courant est transmis chaque fois qu'il y a dans le premier poste contact avec l'encre; il est interrompu chaque fois qu'il y a contact avec le métal. Le courant arrive dans un électro-aimant qui déplace une tige et le papier s'applique contre l'hélice imprégnée d'encre.

Les régulateurs sont de lourds pendules agissant par leurs masses comme volants, par leurs tiges comme lames vibrantes dont les oscillations sont isochrones.

Une boule mobile le long de la tige permet de ralentir ou d'accélérer le mouvement; le pendule fait deux oscillations coniques à chaque tour du cylindre; celui-ci fait 75 tours par minute.

L'appareil Meyer a fonctionné pendant quelque temps en service régulier de Paris à Lyon; la vitesse de transmission dépend beaucoup des circonstances secondaires; elle est en moyenne de 25 dépêches par heure, chaque dépêche ayant une surface de 24 centimètres carrés. C'est en cherchant à perfectionner son appareil que M. Meyer a songé à appliquer le principe de la transmission multiple par le même fil, (V. plus loin).

Télégraphe autographique d'Arlicourt. — Dans le système de télégraphe autographique d'Arlicourt le mécanisme moteur est régularisé par une lame vibrante, comme dans l'appareil de Hughes; mais cette lame n'est pas seule, il y en a une seconde, libre, formant diapason avec la première. Il y a entre chacune des révolutions du transmetteur et du récepteur un petit temps d'arrêt pendant lequel s'opère le réglage.

Télégraphe autographique Lenoir. — On doit à M. Lenoir, inventeur du Lenoir à gaz, un appareil autographique qui est caractérisé par une très grande vitesse de transmission, avec des engins excessivement simples, une pile de force électromotrice faible et pas de relais.

Chaque appareil comprend un moteur électromagnétique. On inscrit la dépêche sur un papier métallique avec de l'encre isolante, comme dans le télégraphe Meyer, et sur ce papier passe un style conducteur. Le récepteur est formé d'une feuille de papier blanc ordinaire sur laquelle une plume ordinaire vient tracer la série de points formant la reproduction des caractères de la dépêche. Il y a émission d'un courant positif quand le style du transmetteur passe sur un trait, et d'un courant négatif très faible quand il passe sur une partie métallique du papier. Cette variation dans le sens et l'intensité du courant s'obtient en employant deux piles reliées d'une façon inverse par rapport à leurs pôles.

Une seule pile est mise dans le circuit lorsque c'est un courant positif qui circule; dans le cas où c'est un courant négatif qui doit être envoyé, les deux piles sont mises dans le circuit. On peut transmettre avec cet appareil 30 dépêches de 28 mots en une heure.

Télégraphe autographique de Cowper. — Ce télégraphe se compose essentiellement d'une plume qui se meut constamment en présence de deux conducteurs distincts perpendiculaires. Les éléments du mouvement qu'exécute la plume, décomposés sur ces directions, sont transmis sur un autre papier préparé chimiquement, où les courants laissent des traces. Il faut un double système de batterie et de fil de ligne, et il faut aussi pouvoir régler l'intensité du courant; ce dernier résultat s'obtient à l'aide d'un appareil de résistance.

Télégraphe automatique d'Edison. — A l'exposition d'électricité de 1881 (Paris), M. Edison présenta un appareil autographique dans lequel les dépêches à transmettre sont écrites sur un papier ordinaire, d'une certaine épaisseur, à l'aide d'un crayon dur. Le papier est enroulé sur un cylindre vertical qui tourne régulièrement; sur ce papier frotte une pointe qui, en rencontrant les dépressions faites par le crayon sur le papier, exécute un mouvement imperceptible, mais néanmoins suffisant pour fermer un circuit électrique et envoyer sur la ligne un courant qui, agissant sur

un papier électro-chimique enroulé sur un cylindre semblable, y laisse des traces correspondant aux traits marqués sur le papier au départ. Les mouvements des deux cylindres doivent être, bien entendu, synchroniques.

Appareils typo-télégraphiques.

Les appareils autographiques ont l'inconvénient de faire perdre au style mobile tout le temps qui lui est nécessaire pour parcourir l'espace non occupé par l'écriture; on gagnerait donc à avoir des lettres toutes comprises entre deux parallèles définies comme les lettres d'imprimerie; tel est le but des divers appareils dits typo-télégraphiques.

Appareil typo-télégraphique de Bonelli. — M. Bonelli a résolu le problème ainsi posé et a obtenu une rapidité de 50 mots par minute en employant, au lieu de styles pour tracer les hauteurs parallèles, de véritables pignes tracant à la fois cinq de ces lignes; mais il faut cinq fils conducteurs en bon état, et ce sarcueil de matériel accaparé par une seule dépêche fait perdre à l'appareil tous les avantages apparents de sa rapidité. On a expérimenté ce système entre Liverpool et Manchester.

Appareil typo-télégraphique de MM. Vavin et Fribourg. — Nous nous contenterons de mentionner l'appareil de MM. Vavin et Fribourg, dans lequel on ne saurait voir jusqu'à présent qu'une invention ingénieuse, mais peu pratique, à cause de la complication des pièces de détail et la lenteur de la mise en œuvre.

Appareil typo-télégraphique Edison. — M. Edison a présenté à l'Exposition internationale d'Électricité de Paris de 1881 un appareil typo-télégraphique dont voici le principe: au départ la dépêche, au lieu d'être composée au moyen de types romains, comme dans le système Bonelli, est inscrite sur une bande de papier perforée suivant cinq lignes parallèles; les trous sont disposés de manière à représenter les diverses lettres de l'alphabet.

La perforation s'effectue à l'aide d'un appareil spécial à clavier; il suffit d'appuyer sur une touche pour produire la perforation correspondant à la lettre inscrite sur cette touche.

La vitesse de transmission de cet appareil serait, paraît-il, de 2.000 mots par heure, mais sur des lignes de faible longueur.

Appareil typo-télégraphique de MM. Passaquay et André. — Un autre appareil typo-télégraphique, de conception assez originale, avait été également exposé en 1881 par MM. Passaquay et André. Les fils de ligne, au nombre de cent cinquante, forment la chaîne d'un tissu dont la trame est en chanvre. Ce tissu pourrait être enroulé de façon à être enroulé dans un tube de 1 centimètres de diamètre. Chaque conducteur aboutit, à chaque extrémité de la ligne, à un style spécial. L'ensemble de ces styles forme un peigne que l'on promène, au départ, sur une feuille métallique portant la dépêche, et à l'arrivée sur une feuille de papier préparée.

Le rapport du jury, auquel nous empruntons cette description, fait remarquer avec raison qu'il est difficile d'admettre qu'on puisse juxtaposer économiquement dans de bonnes conditions un aussi grand nombre de conducteurs et que, dans tous les cas, il serait sans doute préférable de les utiliser autrement.

Les divers procédés de télégraphie qui viennent d'être décrits s'appliquent aux lignes aériennes, mais ils peuvent servir aux transmissions par lignes souterraines lorsque la capacité de ces lignes n'est pas

trop grande. Par contre, tous les procédés applicables aux lignes souterraines sont sous exception aux lignes aériennes.

IV. — Télégraphes à transmissions multiples.

Utilité des télégraphes à transmissions multiples. — Dans tout système de télégraphie électrique, le fil de la ligne reste sans emploi pendant la fraction des intervalles séparant les signaux qui ne sert pas à la décharge de la ligne. La manipulation automatique diminue ces pertes de temps, relativement énormes, par la manipulation successive d'un employé; mais la durée de la manipulation successive est encore bien supérieure à celle qui est indispensable pour le passage des signaux. La transmission multiple a pour objet d'utiliser, dans une certaine mesure, les intervalles pendant lesquels le fil reste libre, en les consacrant à d'autres transmissions par le même fil.

Un des postes transmet son courant d'une manière intermittente; entre ces émissions la ligne est libre, et l'on comprend que pendant la durée de chaque intervalle, agrandi, s'il est convenable de le faire, on pourra envoyer, entre deux autres appareils communicant par le même fil, un autre signal. On pourra intercaler la nouvelle transmission soit entre les signaux élémentaires, soit entre les lettres complètes de la première transmission. Régions la manipulation de manière à consacrer à chaque lettre le temps nécessaire à la plus compliquée, et, entre deux lettres successives, laissons un intervalle de $n - 1$ lettres; on pourra relier le fil à deux nouveaux appareils dans chacun de ces $n - 1$ intervalles et obtenir ainsi la transmission de n dépêches pendant la même période de temps. Dans chaque poste, l'employé aura pour manipuler un temps n fois plus grand que le temps nécessaire au passage d'un courant.

Les inconvénients de ce système paraissent être, en principe, les suivants: une lettre quelconque prend le temps de la lettre la plus longue; le nombre maximum des signaux transmissibles pendant un temps donné ne saurait être atteint; le synchronisme des postes correspondants doit être rigoureux, car la communication des appareils correspondant avec la ligne doit être simultanée. Mais la transmission multiple a l'avantage de ne changer en rien l'organisation habituelle du service: chaque poste et son correspondant sont indépendants et peuvent, comme dans une transmission ordinaire, interrompre leur travail, rectifier, collationner la dépêche. Enfin la transmission multiple permet de proportionner le nombre des employés à l'importance du travail.

Le premier mode de transmission multiple a été imaginé par M. Rouvier (1858); un autre est dû à M. Meyer, qui l'a réalisé en 1872. Deux ans après (1874), M. Daudot a construit son télégraphe imprimeur à transmissions multiples. A la même époque, M. Elisha Gray a imaginé son télégraphe harmonique; plus récemment (1886), M. Delany a fait connaître un mode de transmission multiple dont nous indiquons plus loin le principe.

Dans chacun de ces systèmes on doit avoir aux extrémités de la ligne deux commutateurs synchroniques dans leurs mouvements et qui règlent le jeu des manipulateurs.

Télégraphe multiple de M. Rouvier. — Dans l'appareil Rouvier il y a un pendule à chaque poste; les pendules de deux postes correspondants se meuvent synchroniquement. Supposons qu'on veuille avoir deux transmissions sur le même fil. A chaque poste

en regard du pendule, se trouvent deux rangées de huit contacts métalliques triples, disposés en arc de cercle dans un plan parallèle au plan d'oscillation, isolés les uns des autres et frottés successivement par un appendice adapté au pendule. Le pendule est muni de deux frotteurs agissant alternativement, à chaque demi-oscillation, sur l'une des rangées de contact; le frotteur supérieur agit seul dans les oscillations faites de droite à gauche; le frotteur inférieur agit de gauche à droite; chaque contact reste pendant le même temps en communication avec le frotteur correspondant. Dans chaque station, les contacts d'ordre impair communiquent avec l'un des manipulateurs, les contacts pairs avec l'autre, de telle sorte que les postes correspondants sont mis alternativement quatre fois en communication à chaque oscillation.

Chaque manipulateur comprend quatre paires de leviers, dont chacune est en contact avec un groupe de contacts. En abaissant un seul levier d'une paire on fait un trait; en abaissant les deux leviers d'une même paire, une lettre; en abaissant deux leviers de paires différentes successives, deux traits. Si les paires sont séparées par une autre paire, on produit deux traits séparés par un blanc, et ainsi de suite; on conçoit que la production d'une suite quelconque de signes est facile. Pour soulever d'un coup, au commencement d'une oscillation, tous les leviers nécessaires à la formation d'une lettre, on appuie un doigt sur la touche correspondante d'un clavier; l'abaissement de cette touche produit, grâce à un nombre de saillies convenable, le soulèvement des leviers destinés à former la lettre.

Dans chaque rangée des triples contacts, deux des lignes servent donc à l'usage des leviers correspondants; la troisième ligne sépare les signaux envoyés, en permettant au courant de se décharger par les deux extrémités. A cet effet, les contacts de cette troisième ligne communiquent avec le sol.

On arrive ainsi à envoyer deux dépêches au moyen de ces deux appareils électriques pendant le même temps. Pour obtenir un plus grand nombre de transmissions simultanées, on emploiera à chaque station un plus grand nombre de claviers, dont chacun aura une rangée de contacts multiples, le nombre des lignes de ces rangées étant celui des transmissions à obtenir, plus un.

Télégraphe multiple de Meyer. — Dans le système Meyer, la transmission de chaque lettre occupe la ligne pendant le temps correspondant à la plus longue lettre, et, entre chaque lettre d'une transmission, on laisse un intervalle égal à $n-1$ fois le précédent s'il y a n transmissions dans la même période. M. Meyer se sert pour son appareil du pendule conique et du récepteur de son appareil autographique, dont le caractère particulier est l'emploi d'une hélice pour imprimer les signaux à l'encre; l'alphabet adopté est celui de Morse. Les postes correspondent successivement entre eux par l'intermédiaire d'un distributeur fixe; ce distributeur est divisé en autant de sections qu'il doit y avoir de transmissions, n par exemple. Chaque poste est relié à la section correspondante. Sur le cadran frotté un ressort en communication permanente avec la ligne et qui s'appuie successivement sur chaque partie du cadran. La section correspondante à un poste est divisée en douze secteurs; le premier forme un secteur-point; les deux premiers un secteur-trait; le troisième, communiquant avec le fil, permet à la ligne de se décharger à chaque extrémité.

On comprend qu'on puisse mettre les quatre touches noires et les quatre touches blanches d'un clavier en correspondance avec les huit secteurs actifs de la sec-

tion réservée au poste considéré. Pour transmettre une lettre, on appuiera simultanément sur autant de touches noires ou blanches que la lettre à produire renferme de points ou de traits, en ayant soin pour les lettres de partir de la gauche du clavier; chaque lettre renfermant au plus quatre signes, la transmission sera toujours possible. Si, au moment où le ressort du distributeur commence à parcourir la section correspondant au clavier n° 1, l'employé presse sur les touches constituant la lettre qu'il veut transmettre, les émissions passeront successivement sur la ligne, en nombre voulu et avec la durée convenable. Le ressort parcourra ensuite la section suivante et permettra d'envoyer une lettre de la transmission n° 2, et ainsi de suite. Chaque employé aura, pour préparer les touches d'une lettre à transmettre, $n-1$ fois le temps nécessaire à la production d'une lettre de quatre signes; mais il doit avoir la lettre toute formée sous les doigts au moment où le ressort commence à parcourir la section qui est reliée à son clavier.

Nous avons dit que les lettres sont représentées par les signes de l'alphabet Morse; mais pour les chiffres on doit recourir à d'autres signes; on conviendra par exemple, pour la représentation des chiffres, de ne jamais faire entrer dans leur formation le premier point ou trait du clavier; la lecture se fera en sens inverse.

Si m est le nombre de tours de l'appareil par minute, n le nombre des postes, le produit mn fera connaître le nombre de lettres transmises par minute. Sur la ligne de Paris à Lyon, un appareil à transmission quadruple a permis à chaque employé de transmettre de 22 à 25 mots par minute, ce qui fait en tout de 88 à 100. Sur la même ligne, entre Paris et Marseille, on a installé vers la fin de l'année 1874 un appareil à six transmissions, qui se marche avec une vitesse de 60 tours par minute; ce qui donne par minute 360 lettres. Chaque mot, en laissant la durée d'une lettre comme intervalle, compte en moyenne pour 6 lettres; le rendement est donc de 60 mots par minute, ou 3.600 par heure; une dépêche de 20 mots avec toutes les indications réglementaires équivalant à 30 mots, cela fait donc 120 dépêches à 20 par employé.

Dans la transmission par l'appareil Meyer il y a une perte de temps provenant de ce qu'on n'utilise pas toutes les combinaisons qu'il est possible d'obtenir avec les touches. Cet inconvénient a été évité dans le système de M. Baudot.

Télégraphe imprimeur à transmission multiple de M. Baudot. — Le télégraphe imprimeur à transmission multiple de M. Baudot est certainement l'appareil le plus ingénieux qui existe. Il est employé aujourd'hui en France sur un grand nombre de lignes de l'État et compte de nombreuses applications à l'étranger. Aussi avons-nous jugé indispensable de le décrire en détail.

Le premier appareil de M. Baudot a été breveté en juin 1874 et a été mis à l'essai en 1875 sur un fil partant de Paris, passant par le Havre et Lisieux, revenant à Paris, et prenant terre à Versailles (550 kilomètres). En 1877, deux appareils à cinq transmissions, construits dans les ateliers de MM. Dumoulin-Froment, ont été mis en service sur la ligne de Paris à Bordeaux. Ces appareils ont figuré à l'Exposition de 1878. En 1879, deux nouveaux appareils quadruples ont été mis en service sur la ligne de Paris à Bordeaux, puis plus tard sur la ligne de Paris à Lyon, où ils donnent une vitesse de transmission de 40 à 50 dépêches de 20 mots par clavier et par heure.

Depuis l'année 1879 l'appareil de M. Baudot a reçu de la part de son inventeur de nombreux per-

fonctionnements et les modèles actuels réalisent tous les avantages que peut donner le système.

M. Baudot a bien voulu nous autoriser à reproduire la première partie d'une note rédigée par lui et où il expose très clairement le principe et le mode de fonctionnement de son système télégraphique.

Nous donnerons ensuite, d'après cette même note, une description résumée des appareils.

1^o EXPOSÉ DU SYSTÈME.

Les opérations que comporte le fonctionnement d'un télégraphe imprimeur se résument comme suit :

Au poste de départ : 1^o formation, préparation du signal, simple ou composé, destiné à représenter les lettres; 2^o transmission d'une ou plusieurs émissions de courant dont le nombre, le sens, la durée, l'espacement, etc., correspondent au signal formé et qu'il s'agit de transmettre à l'autre extrémité de la ligne.

Au poste d'arrivée : 3^o réception des courants et reproduction du signal formé au départ; 4^o traduc-

tion du signal et impression de la lettre qu'il représente.

Dans le système Baudot le signal est formé au moyen de plusieurs leviers ou touches manœuvrés par les doigts de l'opérateur qui, à volonté, les abaisse ou les laisse au repos. Chacune des touches abaissée séparément constitue un signal simple distinct. Deux ou plusieurs de ces touches abaissées simultanément permettent de constituer autant de signaux composés distincts qu'il est possible d'effectuer de combinaisons différentes à l'aide des touches. Chacun des signaux, simple ou composé, sert à représenter une lettre (v. ALPHABET TÉLÉGRAPHIQUE). Le signal étant préparé par l'abaissement des touches suivant une combinaison déterminée, des courants sont alors automatiquement transmis sur la ligne, le sens de ces courants ainsi que leur durée et leur nombre étant obtenus par cette combinaison même.

A l'arrivée, les courants électriques actionnent des organes mobiles en nombre égal à celui des touches du poste de départ et correspondant respectivement

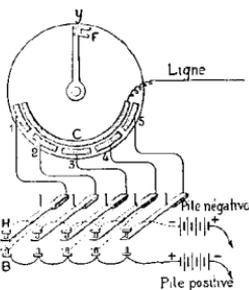


Fig. 26. Manipulateur et Distributeur du poste de départ.

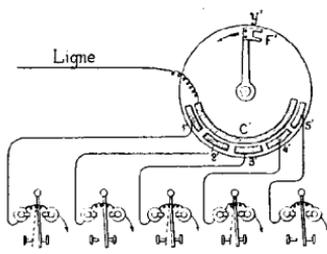


Fig. 27. Distributeur et Electro-aimants récepteurs du poste d'arrivée.

à celles-ci. Le signal, simple ou composé, préparé au moyen des touches du poste de départ, se trouve ainsi reproduit par les organes mobiles du poste d'arrivée, qui le cèdent bientôt à un mécanisme spécial, lequel l'emmagasine d'abord et le traduit ensuite en un caractère typographique imprimé sur une bande de papier.

Cette traduction et cette impression s'effectuant à l'aide d'organes indépendants de ceux qui servent à la réception proprement dite, il en résulte que ces opérations toutes locales n'entravent pas le travail de la ligne qui, pendant ce temps, peut être utilisée pour la transmission d'autres signaux.

Les fig. schématiques 26, 27, 28, 29, 30, 31 et 32 permettent de se familiariser avec les éléments du télégraphe Baudot.

Au poste de départ (fig. 26) se trouvent un manipulateur à cinq touches et un distributeur.

Au poste d'arrivée (fig. 27) se trouvent un distributeur semblable au premier et un groupe de cinq électro-aimants récepteurs.

Les frotteurs doubles F et F', commandés chacun par un rouage d'holocerie, sont supposés glisser d'un mouvement circulaire uniforme sur les contacts de leurs distributeurs respectifs.

Un correcteur de synchronisme sert à maintenir ce mouvement uniforme.

Les contacts 1, 2, 3, 4 et 5 du distributeur de départ sont respectivement reliés aux cinq touches du manipulateur.

Les contacts 1', 2', 3', 4' et 5' du distributeur d'arrivée sont respectivement reliés aux cinq électro-aimants récepteurs.

Les deux contacts C et C' sont réunis électriquement par le fil de ligne.

Chacune des touches du manipulateur est constituée par une lame de ressort I, laquelle, en temps ordinaire, vient presser contre son buttoir supérieur H, que M. Baudot désigne sous le nom de *buttoir de repos*. La pression du doigt sur une touche amène celle-ci au contact de son buttoir inférieur B, appelé *buttoir de travail*.

Les cinq buttoirs de repos du manipulateur sont reliés à une pile négative; les cinq buttoirs de travail sont reliés à une pile positive.

Chacun des électro-aimants du poste d'arrivée est polarisé, et son armature est disposée de façon à être pressée par son buttoir de gauche ou par celui de droite, suivant que les bobines sont parcourues par un courant positif ou négatif. Désignons les buttoirs de droite sous le nom de *buttoirs de repos* et ceux de gauche sous le nom de *buttoirs de travail*. Chaque armature est réglée de façon à rester en permanence au contact du buttoir sur lequel elle a été pressée par un courant momentané d'un sens quelconque traversant les bobines.

Si l'on suppose maintenant que les frotteurs F et F', animés de la même vitesse, soient partis au même moment de deux points y et y' symétriquement pla-

cés par rapport aux contacts des deux distributeurs, on verra que, successivement, et par l'intermédiaire de la ligne et des deux distributeurs, la touche 1 du poste de départ sera mise en communication avec l'électro-aimant 1 de l'arrivée, puis la touche 2 avec l'électro-aimant 2, etc.; et si les doigts de l'opérateur ont abaissé une ou plusieurs touches au poste de départ et les ont maintenues abaissées pendant une révolution entière des frotteurs, on verra, au poste d'arrivée, sous l'influence des courants reçus, les armatures des électro-aimants correspondant aux touches abaissées se déplacer et rester appuyées sur leur butoir de travail.

Les cinq armatures reproduiront ainsi dans leur ensemble la combinaison de touches abaissées au départ.

Or, le nombre de combinaisons qu'il est possible d'effectuer à l'aide des cinq touches du manipulateur est de 32, ainsi que le montre le tableau ci-dessous, dans lequel chacune des touches 1, 2, 3, 4 et 5 est représentée par le signe + ou -, suivant qu'elle doit être abaissée ou laissée en repos dans la combinaison considérée.

	1	2	3	4	5
A.....	+	-	-	+	-
B.....	+	-	+	-	-
C.....	+	+	+	+	-
D.....	+	+	+	+	+
E.....	+	+	-	-	-
F.....	+	+	+	-	-
G.....	-	+	+	+	-
H.....	+	+	-	+	-
I.....	-	+	+	-	-
J.....	+	-	-	+	-
K.....	+	-	-	+	+
L.....	+	-	-	+	+
M.....	-	+	-	+	+
N.....	-	+	+	+	+
O.....	+	+	+	+	+
P.....	+	+	+	+	+
Q.....	+	-	+	+	+
R.....	+	-	+	+	+
S.....	-	-	+	+	+
T.....	+	-	+	-	+
U.....	+	-	+	-	+
V.....	+	+	+	-	+
W.....	-	+	+	-	+
X.....	-	+	-	-	+
Y.....	+	-	+	-	-
Z.....	+	+	-	-	+
1.....	+	-	-	-	+
2.....	-	-	-	+	+
3.....	-	-	-	-	+
4.....	-	-	-	-	+
5.....	-	-	-	-	+

Chacun des 32 caractères (lettres ou signes) que ces 32 combinaisons de touches sont respectivement destinées à représenter peut donc être transmis d'une extrémité à l'autre d'une ligne télégraphique. Exemple : Pour transmettre la lettre C (représentée par la troisième combinaison du tableau précédent), il faut, au poste de départ, tenir abaissées les touches 1, 3 et 4 du manipulateur, pendant que le frotteur P du distributeur passera successivement sur les cinq contacts. Les touches abaissées étant, par ce fait, mises en contact avec le pôle positif d'une pile,

landis que les touches 2 et 5 restées en repos sont en communication avec le pôle négatif d'une seconde pile, il en résulte qu'un courant positif sera envoyé sur la ligne lorsque le frotteur mobile F passera sur le contact 1 relié à la première touche abaissée, puis un courant négatif succédera au premier lorsque le frotteur F arrivera sur le contact 2 relié à la deuxième touche qui est au repos; puis un courant positif sera envoyé pendant le passage du frotteur sur les contacts 3 et 4 reliés aux troisième et quatrième touches abaissées; et, enfin, un courant négatif suivra les précédents lorsque le frotteur passera sur le contact 5 relié à la cinquième touche au repos.

Pendant ce temps, voyons ce qui a dû se passer au poste d'arrivée, où nous supposons que le frotteur F' a effectué son parcours sur les cinq contacts reliés aux cinq électro-aimants récepteurs, dans le temps et au moment même où le frotteur F parcourait les cinq contacts du distributeur au poste de départ. Les cinq électro-aimants ont été mis successivement en communication avec la ligne. Mais dans les moments où cette communication s'établissait pour les électro-aimants 1, 3 et 4 arrivait précisément les courants positifs provoqués par l'abaissement des touches 1, 3 et 4 de la station de départ; tandis que, dans les moments où elle s'établissait pour les électro-aimants 2 et 5, arrivaient des courants négatifs provoqués par les touches 2 et 5 restées au repos. Les armatures des électro-aimants 1, 3 et 4 ont donc été projetées sur leur butoir de travail, tandis que celles des électro-aimants 2 et 5 ont été maintenues sur leur butoir de repos.

L'ensemble des cinq armatures reproduit ainsi l'image exacte et permanente de la position des cinq touches du poste de départ; car les armatures conservent la position qui leur a été donnée par le passage d'un courant même momentané, dans les bobines de l'électro-aimant dont elles font partie.

Le signal conventionnel étant ainsi reçu et conservé, il faut le traduire et imprimer le signe de l'écriture ordinaire qui y correspond. La traduction du signal est effectuée par un organe spécial appelé COMBINATEUR.

Les fig. 28, 29 et 30 permettent de comprendre le mécanisme de cet organe. D est un disque tournant dont la tranche sort de point d'appui à cinq leviers h_1, h_2, h_3, h_4 et h_5 , disposés à la suite l'un de l'autre et articulés respectivement sur cinq axes a parallèles. A sa partie supérieure chaque levier porte un prolongement recourbé en équerre, par lequel il se trouve en contact avec celui qui le précède et celui qui le suit. Il résulte de cette disposition que le premier levier, celui qui est situé à gauche de h_1 , et que nous appellerons l' , sollicite à s'incliner de gauche à droite par le ressort r ne pourrait le faire qu'autant que les cinq leviers exécuteraient à la fois le même mouvement; car, pour résister à la pression du ressort r , le levier l' trouve un point d'appui sur h_1, h_2 sur h_3, h_4 sur h_4 et enfin h_5 sur h_5 . En d'autres termes, le levier l' est solidaire des cinq autres pour le mouvement oscillatoire provoqué par le ressort r .

En outre de ce point d'appui, que chaque levier trouve par sa partie supérieure sur son voisin de droite, il en possède un autre : c'est la circonférence du disque D, sur lequel il repose par sa partie inférieure. Il est vrai que ce disque D est enlaidé sur sa circonférence, et que, lors du passage d'une encoche sous l'extrémité inférieure de l'un des leviers, celui-ci cesse d'être soutenu et pourrait céder à l'impulsion du ressort r ; mais, en raison de la solidarité de ce ressort avec les cinq leviers, cet effet ne pourrait se produire que si, au même instant, le disque précé-

tail des encoches sous chacun de ceux-ci; et, précisément, ce dernier disque est entaillé de façon que cette coïncidence ne puisse se produire qu'en un seul point de sa révolution.

L'ordre dans lequel les encoches ont été pratiquées sur le disque D est tel que, en chacune des positions suivant lesquelles il se présente successivement devant l'ensemble des cinq leviers, les parties pleines de ce disque fournissent des points d'appui à autant de combinaisons différentes de ces leviers.

Ceci posé, voici à l'aide de quelle disposition méca-

nique on peut rendre possible le mouvement de bascule de l'ensemble des cinq leviers à un moment choisi de la révolution du disque: derrière le disque D est appliqué un autre disque D' (fig. 29) entaillé comme lui sur sa circonférence, mais de façon que les entailles de D correspondent aux saillies de D' et réciproquement. Chacun des leviers L, commandé au moyen de l'armature d'un électro-aimant, par exemple, peut être déplacé latéralement avec son axe de façon à se trouver soit sur le disque D, soit sur le disque D'. Dans l'une ou l'autre position, chacun des leviers

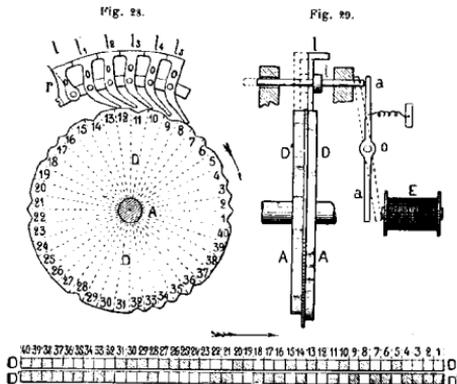


Fig. 30.

reste en contact avec ses voisins par la partie élargie de leur extrémité supérieure. Si on utilise cette disposition en faisant passer les leviers l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 sur D' avant de mettre les disques en mouvement, il est facile de comprendre que cette substitution modifiera complètement l'ordre dans lequel se succéderont les combinaisons de leviers trouvant des points d'appui sur les disques pendant la révolution de ceux-ci.

Ainsi chaque combinaison distincte de leviers déplacés et amenés sur le disque D' déterminera l'oscillation de l'ensemble des leviers en un point de la révolution des disques correspondant à cette combinaison et distinct pour chacune.

Le rôle des cinq leviers l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 , qui pendant la révolution des disques cherchent le point où ils doivent appuyer par une oscillation la combinaison que forme leur ensemble, les a fait nommer *chercheurs*.

Cette propriété que possèdent les chercheurs de pouvoir osciller en 32 points différents de la révolution des disques est utilisée pour imprimer sur une bande de papier un caractère à choisir dans les 32 caractères représentant les lettres à transmettre. Ce résultat est obtenu à l'aide d'une disposition très simple dont la fig. 31 donne une idée nette. Par l'intermédiaire du levier L et de la tige t , le mouvement de bascule des chercheurs détermine la projection vers la gauche du cylindre L, lequel porte une bande de papier P qui vient ainsi frapper la circonférence d'une roue R, montée comme les disques dentés D et D' sur l'axe A (v. les fig. 28 et 29). Cette roue porte, gravés sur son pourtour, les caractères qu'il s'agit d'imprimer; et, pendant une révolution de l'axe A, chacun de ces caractères ou *types* passe

successivement devant la bande de papier dans le même temps que les divisions correspondantes des disques passent sous les chercheurs. Il résulte de

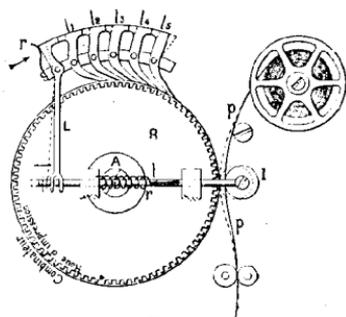


Fig. 31.

cette disposition que l'oscillation des chercheurs, s'effectuant en un point déterminé de la rotation des disques, produira la projection du papier sur un des types de la roue et précisément sur celui qui correspond à ce point. Par conséquent, à chacune des 32 combinaisons auxquelles les chercheurs peuvent donner lieu lorsqu'on les place sur l'un ou l'autre des

disques D et D', correspondra, après une révolution de l'axe A, l'impression d'un caractère distinct, propre à la combinaison effectuée. Or, les cinq chercheurs étant respectivement commandés par les armatures de cinq électro-aimants qui ont reproduit la combinaison formée par l'ensemble des cinq touches du poste de départ, on voit qu'à chaque combinaison faite au départ avec les cinq touches du manipulateur correspondra à l'arrivée un caractère imprimé sur une bande de papier et distinct pour chacune.

Les armatures des électro-aimants récepteurs (fig. 32)

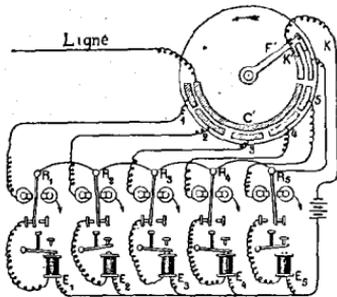


Fig. 32.

prenant, sous l'influence des courants de ligne, une position permanente ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, M. Baudot a utilisé cette position prise et conservée pour effectuer le transport de la combinaison qu'elles forment dans leur ensemble sur une autre série d'organes capables d'effectuer un travail réel. Ceci a l'avantage de dispenser de tout travail mécanique les électro-aimants récepteurs, lesquels reçoivent, à l'extrémité d'une ligne un peu longue, des courants de peu de durée et de faible intensité.

Voilà comment s'effectue ce transport : les cinq armatures des électro-aimants R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 , sont reliées ensemble à un contact K (fig. 32). Un autre contact K' est relié à une pile locale. Le frotteur double P' arrive sur les contacts K et K' qu'il réunit pendant un instant, immédiatement après avoir quitté le contact S relié au cinquième électro-aimant. Les cinq buttoirs de travail des armatures sont respectivement reliés à cinq électro-aimants E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 . Il résulte de cette disposition que, lorsque le frotteur P' arrive en K, le courant de la pile locale est envoyé simultanément aux cinq armatures, mais ne passe en réalité que par celles qui sont en contact avec leur butoir de travail pour aller actionner les électro-aimants correspondants de la deuxième série. Dans ces conditions, les électro-aimants R remplissent le rôle de relais. Ce transfert de la combinaison à traduire à une nouvelle série d'organes rend disponibles les organes primitivement employés et permet de les utiliser à nouveau pour un autre signal.

On peut résumer ce qui précède en disant que la transmission des signaux et leur traduction sont des opérations tout à fait indépendantes. La conséquence de l'indépendance mutuelle des organes par lesquels passe successivement le signal est de permettre leur utilisation dès qu'ils sont libres et débarrassés du signal précédent. Le plus important de ces organes, le fil de ligne, peut ainsi être utilisé à transmettre un nouveau signal, même alors que celui qui vient d'être reçu occupe et immobilise les armatures des relais qui

l'ont emmagasiné. Il suffit pour cela de disposer les distributeurs de départ et d'arrivée pour que le nouveau signal, préparé par un second manipulateur, puisse être expédié immédiatement après le premier et puisse être reçu dans un second groupe de relais desservant un second traducteur. M. Baudot a pu constituer ainsi un appareil imprimeur à transmissions multiples au moyen d'un seul fil.

Afin de répondre aux besoins variés du trafic, M. Baudot a réalisé divers types d'installation, savoir :
1^o Installation multiple, permettant à plusieurs employés, travaillant simultanément, de transmettre ou de recevoir à l'aide d'un fil de ligne unique. Les installations multiples sont faites pour 2, 3, 4 et même 6 transmissions ou réceptions. La fig. 33 donne la disposition des communications électriques d'une installation Baudot quadruple.

2^o Installation simple, dans laquelle la totalité du temps est utilisée pour une seule transmission.

Ces diverses installations, surtout la deuxième, peuvent être montées en DUPLEX suivant les méthodes connues : méthode différentielle, méthode du pont de Wheatstone, etc. (V. TRANSMISSION SIMULTANÉE).

2^o DESCRIPTION DES APPAREILS.

Ainsi qu'il a été expliqué plus haut, une installation multiple comprend :

Au poste de départ : un manipulateur et un distributeur ;

Au poste d'arrivée : un distributeur, des relais et un traducteur.

Manipulateur. — Le manipulateur (fig. 34 et 35) est une sorte de piano de petites dimensions à cinq touches T articulées sur un axe O et rangées parallèlement (fig. 34) ; les deux touches de gauche sont séparées des deux de droite par un intervalle occupé par un COMMUTEUR à manette, que l'employé tourne à droite ou à gauche suivant que le poste doit servir à la transmission ou à la réception des dépêches.

Chaque touche commande deux ressorts fixés sur le fond de la boîte par une de leurs extrémités et peut faire osciller leur extrémité libre garnie d'argent entre des buttoirs de même métal : l'un de ces ressorts, qui est seul visible, en r, sur la fig. 34, sert à la transmission proprement dite, l'autre provoque la copie des signaux dans le poste de départ. Cette copie est appelée impression de contrôle. Dans la position de repos des touches, les ressorts viennent naturellement presser contre leurs buttoirs supérieurs ; mais, lorsque le doigt de l'opérateur abaisse une ou plusieurs d'entre elles, les ressorts de celle-ci viennent presser contre leurs buttoirs inférieurs. Les buttoirs supérieurs des ressorts d'ordre impair sont constitués par des goupilles d'argent plantées dans une

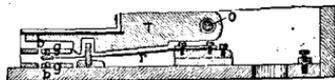


Fig. 34. — Coupe transversale du Manipulateur.

règle de laiton g et sont, par conséquent, reliés électriquement. On peut en dire autant des buttoirs supérieurs des ressorts d'ordre pair qui appartiennent à une autre règle et enfin des buttoirs inférieurs de ces mêmes ressorts d'ordre pair et d'ordre impair qui sont reliés respectivement à deux autres règles. Il y a ainsi en tout quatre règles, isolées l'une de l'autre au moyen de plaques et de manchons en ébonite ou en ivoire. Sous le couvercle qui ferme la partie supé-

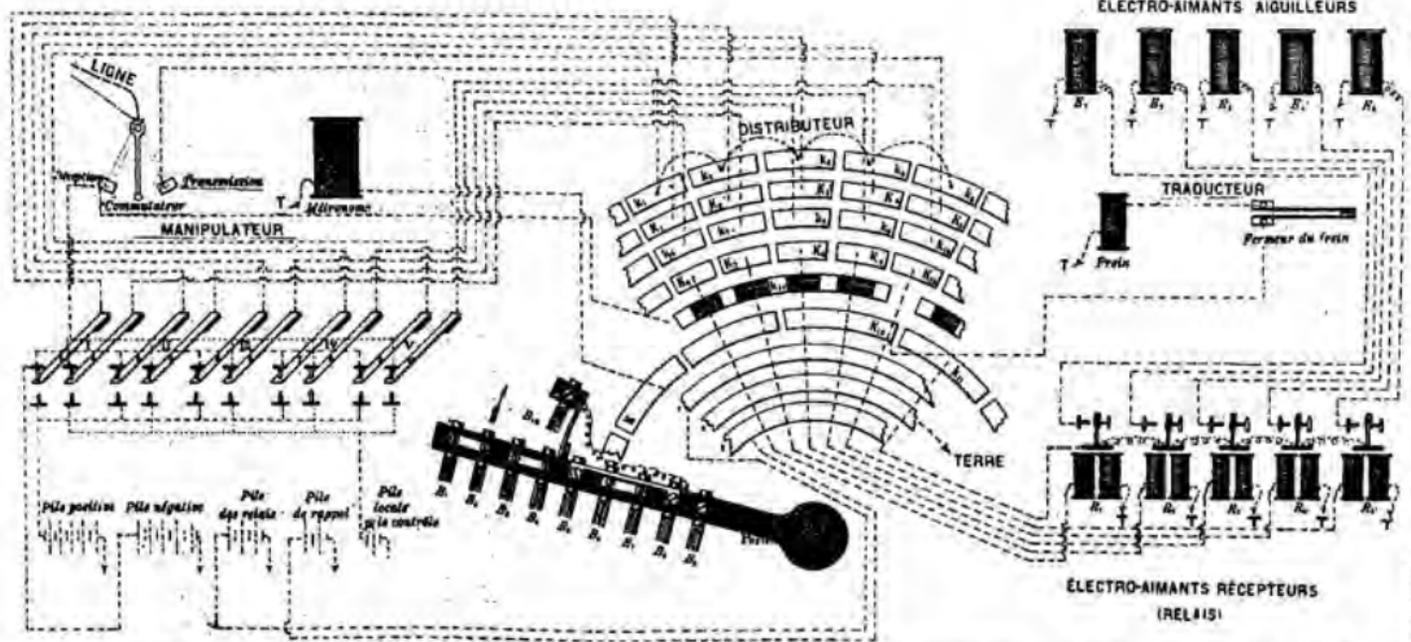


Fig. 32. — Disposition des communications électriques d'une installation Baudot quadruple, composée du groupement des appareils ordinaires, savoir : manipulateur, distributeur, traducteur et relais. Cette figure ne représente que les communications électriques de l'un des secteurs du distributeur qui dessert les organes d'une table de manipulation usuelle, ce qui est suffisant, car les trois autres étant installés d'une façon identique, la répétition exacte du même dessin n'ajouterait rien à la clarté des explications.

1^{er} CAS. — La première paire de balais (B, B₁) établit successivement des liaisons entre la ligne et les ressorts 1, 3, 5, 7, 9 du manipulateur. Ces ressorts, qui sont mis en communication soit avec le pôle positif d'une pile, soit avec le pôle négatif d'une seconde pile, suivant la position que leur font ou que leur laissent occuper les doigts de l'opérateur, servent à la transmission du signal.

La deuxième paire de balais (B, B₂) relie successivement chacun des cinq relais avec les

ressorts 2, 4, 6, 8, 10 du manipulateur, lesquels servent à provoquer l'impression de contrôle du départ.

La troisième paire de balais (B, B₃) ne remplit aucun rôle dans l'expédition.

La quatrième paire (B, B₄) distribue le courant de la pile des relais entre divers organes : un courant, actions d'abord le *frappeur de cadence*, puis l'*electro-frein* et enfin les *electro-aiguilleurs* du traducteur d'après le signal magnétique par les armatures des relais.

2^e CAS. — La première paire (B, B₁) n'est pas utilisée.

La deuxième paire (B, B₂) met successivement la ligne en communication avec tous les relais.

La troisième paire (B, B₃) établit par intermittences une communication entre la ligne et la terre.

La quatrième et la cinquième paires remplissent les mêmes rôles que dans le 1^{er} cas. On peut suivre facilement sur la fig. 32 cette succession d'effets produits.

rière de la boîte est fixé un électro-aimant appelé *frappeur de cadence*, dont l'armature est munie d'un petit marteau (cet électro n'est pas représenté sur la fig. 34, mais on le voit sur la fig. 33). Quand cet électro-aimant est actionné, le marteau frappe un coup sec sur la boîte et le bruit ainsi produit prévient l'employé qui manipule du moment opportun d'abaisser les touches.

Il faut que les touches du manipulateur restent abaissées pendant le temps que le frotteur met à parcourir les cinq contacts du distributeur (comme il a été expliqué dans la description de principe donnée plus haut); on atteint ce résultat automatiquement en munissant les touches d'un appendice servant d'armature

à un électro-aimant boiteux fixé dans le couvercle, et qui est actionné à partir du moment où le signal doit être préparé jusqu'au moment où la transmission est effectuée. Cet électro, qui est désigné sous le nom d'*électro-accrocheur*, facilite la manipulation, mais il n'est pas indispensable.

Distributeur multiple (de départ et d'arrivée).—C'est l'organe le plus important parmi ceux qui servent à établir une transmission multiple. On a vu, page 861, quel est le rôle du distributeur et en quoi consiste cet appareil : il comprend des frotteurs métalliques montés sur un bras commandé par un rouage d'horlogerie et glissant d'un mouvement uniforme sur des contacts rangés circulairement (fig. 36 et 37); les frot-

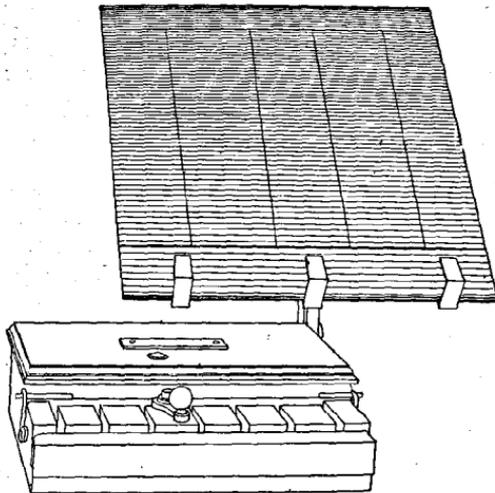


Fig. 35. — Vue extérieure d'un Manipulateur Baudot.

teurs des distributeurs de départ et d'arrivée doivent être animés de mouvements synchrones. Les divers organes du distributeur sont : le *moteur*, le *régulateur de vitesse*, les *organes correcteurs du synchronisme*, les *organes servant à la transmission*, les *organes servant à la réception*, et enfin ceux servant à la *traduction*.

Le *moteur* est un *MOTEUR ÉLECTRIQUE SIEMENS* (fig. 36 et 37) à une seule bobine tournant entre les pôles d'un aimant constitué par plusieurs lames en fer à cheval. Les balais métalliques, par lesquels arrive le courant d'une pile de quelques couples au bichromate de potasse ou au sulfate de cuivre, appuient sur les *coquilles* d'un commutateur et, à chaque demi-révolution de la bobine, inversent automatiquement le sens des courants qui la parcourent.

Le *régulateur de vitesse* imaginé par M. Baudot se compose essentiellement d'une masse destinée à s'écartier de l'axe de rotation sous l'action de la force centrifuge, malgré deux ressorts à boudin qui tendent à la rapprocher de cet axe. Ces ressorts sont accrochés à une potence qui permet de régler leur tension lorsqu'on manœuvre une vis de réglage. La masse est mu-

nie de deux ressorts dont l'extrémité libre, garnie d'un tampon de flasse, appuie sur deux platines. Quand le moteur tourne, la force centrifuge fait écarter la masse, et les ressorts dont elle est munie décrivent des circonférences de plus en plus grandes sur leurs platines de frottement, de sorte que le mouvement uniforme se tarde pas à s'établir. L'une des platines est réglable.

Le *correcteur* est basé sur le principe suivant. Supposons que les balais doubles des deux distributeurs (que nous désignerons par les lettres B et B') soient reliés par le fil de ligne, quand B passe sur un contact C du distributeur un courant est envoyé sur la ligne. Si l'accord existe entre B et B', c'est-à-dire si B' est à ce moment sur le contact C' correspondant au contact C, ce courant est inutile et se rend à la terre; mais si B' est un peu en arrière ou un peu en avant, le courant reçu fait fonctionner un électro-aimant E ou un électro-aimant E', l'électro E détermine une avance du bras qui porte le balai B', tandis que l'électro E' détermine un retard de ce balai. En pratique, on supprime l'un des deux électro et on règle alors la vitesse de B' pour que les écarts à corriger soient toujours dans le même sens.

Organes servant aux communications électriques.
 — Le bras B du distributeur porte dix balais métalliques montés dans des blocs d'ébonite qui les isolent électriquement les uns des autres (v. fig. 36 et 37; v. aussi la fig. 33) et reliés deux à deux par des lames de cuivre. Ces balais sont pourvus d'un moyen

de réglage pour remédier à leur usure Les fig. 33, 36 et 37 font voir la disposition adoptée à cet effet.

Le distributeur porte aussi une paire de balais destinés à effectuer le rappel automatique des armatures des relais sous l'influence du courant négatif d'une pile dite *pile de rappel*.

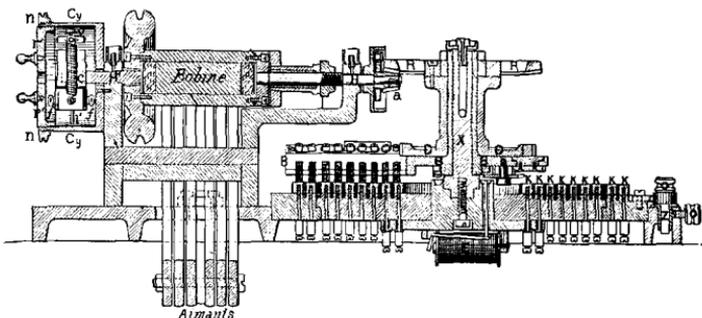


Fig. 36. — Coupe longitudinale du Moteur et du Distributeur.

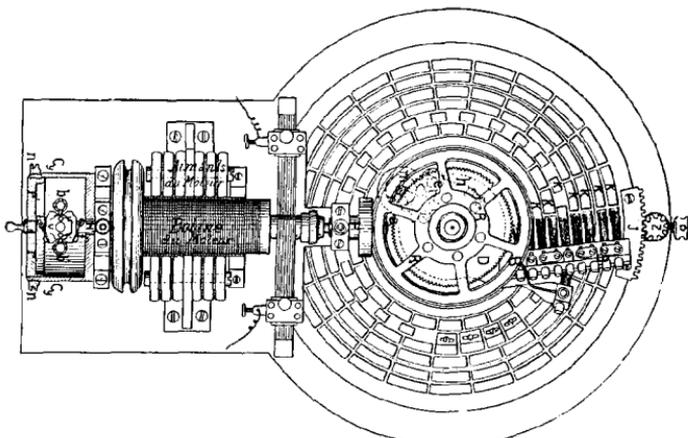


Fig. 37. — Plan du Moteur et du Distributeur.

On sait que les courants émis à l'extrémité d'une ligne télégraphique se manifestent à l'autre extrémité après un temps qui varie beaucoup avec la nature et la longueur de cette ligne. C'est pour que le contact relié au balai qui doit être actionné par un courant arrivant à un moment donné soit parcouru par le balai à ce moment précis que l'on a disposé l'appareil de façon que les contacts servant à la réception, ainsi que ceux qui en dépendent, puissent être déplacés angulairement par rapport aux contacts servant à la transmission ou réciproquement. Dans les fig. 36 et 37, les

premiers, occupant la partie centrale du plateau, sont fixes; les derniers, constitués par les deux rangées circulaires extérieures de contacts, sont établis sur une couronne mobile munie d'une crémaillère J que le pignon Z permet de faire tourner d'un certain angle. On voit ainsi qu'en pratique les contacts de transmission sont mis en communication avec la ligne un instant avant les contacts de réception. Suivant la nature de la ligne à desservir cette avance peut aller jusqu'à donner entre les disques une différence d'un contact. Dans ce cas il y a un contact inutile à

chaque changement du sens de la transmission. Un distributeur quadruple comprend donc 4×5 ou 20 contacts pour 4 transmissions, plus 2 contacts pour l'entretien du synchronisme, plus 2 intervalles inutilisés, soit en tout 24 contacts.

Dans le double but de rendre plus facile l'établissement et la vérification des circuits électriques reliés aux contacts des rangées circulaires, la table qui porte le distributeur est munie d'un compartiment appelé *chambre des communications*, dans laquelle des bornes d'attache en nombre égal à celui des contacts sont reliées à ceux-ci d'une façon définitive. C'est à

ces bornes que se fixent les fils isolés qui, réunis sous forme de câbles souples, se rattachent aux divers instruments qu'ils desservent.

Relais. — Les relais sont à armatures polarisées, ainsi qu'il a été déjà expliqué; le système mobile a peu d'inertie, l'action des noyaux des bobines sur l'armature s'exerce normalement.

Traducteur. — La fig. 38 donne la vue d'ensemble du traducteur. Cet appareil comprend cinq séries distinctes d'organes dont les fonctions sont les suivantes :

(a) Organes servant à la production, à la transmission et à la modification du mouvement;

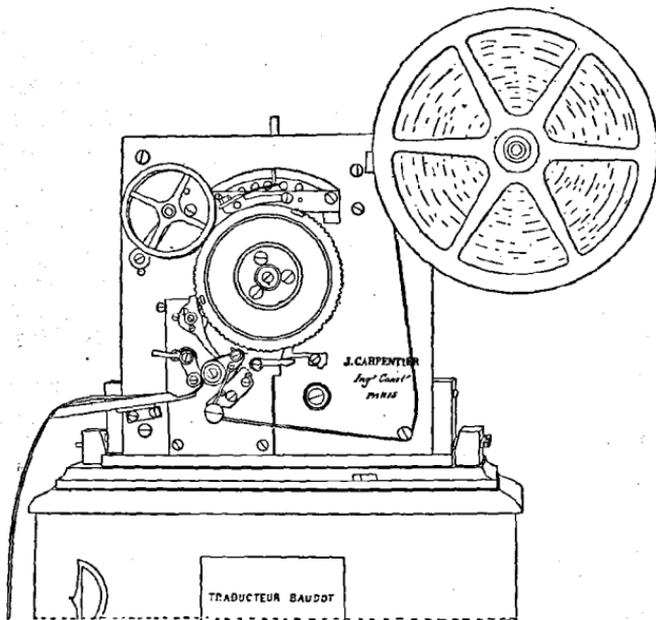


Fig. 38. — Vue extérieure du Traducteur Baudot.

(b) Organes servant à l'emmagasinement des signaux conventionnels;

(c) Organes servant au transfert des signaux d'une série à l'autre;

(d) Organes servant à la traduction des signaux;

(e) Organes servant à l'impression des signes typographiques.

Le mécanisme du traducteur est commandé par un moteur quelconque, hydraulique, électrique, à poids, etc. On emploie ordinairement un moteur à poids muni d'un modérateur de vitesse à force centrifuge, dont la construction n'offre rien de particulier. Sur le socle formé par ce moteur est un électro-aimant, appelé *électro-frein*, qui sert à établir une concordance suffisante entre la marche du traducteur et celle du distributeur. Le moteur du traducteur étant disposé pour tourner avec une vitesse légèrement supérieure à celle du distributeur, il suffit de détruire

périodiquement l'avance que, dans ces conditions, le premier doit naturellement prendre sur le second. C'est ce résultat qui est obtenu au moyen du ralentissement provoqué par l'action de l'électro-frein qui, une fois par tour du distributeur, fonctionne sous l'influence d'un courant local envoyé par celui-ci. La durée de ce courant, qui a toujours la même intensité, est réglée automatiquement par l'appareil même, dont la marche doit être corrigée. La communication momentanée entre le distributeur et l'électro-frein est établie au moyen d'un *fermeur de circuit*.

Ainsi, à chaque tour du distributeur correspond une révolution du traducteur; ces deux appareils marchent donc synchroniquement. L'emmagasinement des signaux conventionnels est effectué au moyen de cinq pièces d'attente appelées *leviers-aiguilleurs*, commandées respectivement par cinq électro-aimants nommés *électro-aiguilleurs*; le trans-

fert des signaux est effectué au moyen d'une double came; la traduction des signaux se fait au moyen des chercheurs et des disques du combinatoire. Les explications détaillées données plus haut, dans l'Exposé du système, suffisent amplement à faire comprendre le jeu du combinatoire et du mécanisme d'impression en caractères typographiques. La description des différentes pièces dont se compose ce mécanisme nous entraînerait trop loin. Le rendement du système Baudot s'établit comme suit : la vitesse de rotation des distributeurs est en moyenne de 165 tours par minute; chaque employé transmettant ou recevant une lettre par tour, le rendement d'un fil de ligne desservi par un Baudot simple est de 165 lettres ou 23 mots par minute, soit 4.500 mots à l'heure; par un Baudot double ou duplex, de 3.000 mots; par un Baudot

triple, de 4.500 mots; par un Baudot quadruple, de 6.000 mots; par un Baudot sextuple, de 9.000 mots à l'heure.

Télégraphe harmonique de M. E. Gray. — Ce système télégraphique date de la même époque que celui de M. Daudot. Dès l'année 1874 M. E. Gray avait démontré que, si des transmissions électriques de sons musicaux différents sont effectuées à travers un même fil sous l'influence de piles différentes et de plusieurs transmetteurs, et que le fil soit en correspondance avec des récepteurs téléphoniques accordés à l'unisson de ces transmetteurs, les vibrations transmises peuvent être en quelque sorte triées à la station d'arrivée et n'affecter que ceux des récepteurs accordés à l'unisson des transmetteurs qui les ont provoqués. C'est sur ce principe qu'ont été combinés

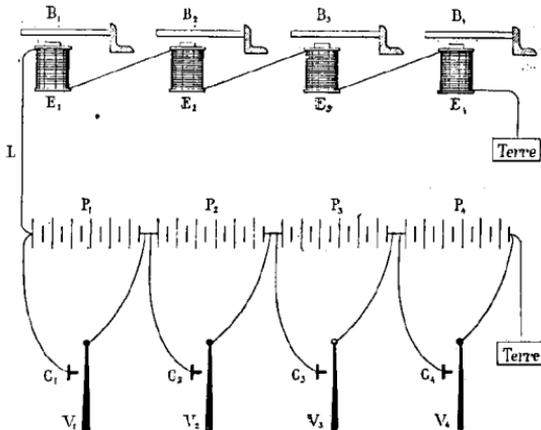


Fig. 99. — Télégraphe de M. E. Gray.

les télégraphes harmoniques à transmissions multiples.

M. Guérout a publié dans la *Lumière électrique*, en 1882, une étude très complète sur le télégraphe de Gray; nous en extrayons le passage suivant, qui permet de se rendre très suffisamment compte du système : « Une pile P, P, P, P, (fig. 39), reliée d'une part au sol, envoie dans la ligne un courant électrique qui, à la station réceptrice, traverse en série un certain nombre d'électro-aimants E, E, E, E, devant lesquels sont placées des tiges d'acier B, B, B, B. Sous l'influence des variations dans l'intensité du courant, chacun de ces électro-aimants peut mettre en vibration, comme une lame de téléphone, la tige correspondante. En outre, ces tiges, fixées solidement par une de leurs extrémités, sont réglées de façon à donner en vibrant des notes bien distinctes, de sorte que chacune d'elles n'est affectée par les variations du courant que quand ces variations sont d'accord avec le nombre de vibrations qui lui correspond.

« D'autre part, la pile du poste transmetteur est divisée en autant de groupes qu'il y a d'électro-aimants à la station réceptrice (4 dans le cas considéré) et sur chacun de ces groupes est disposé en dérivation un circuit comprenant une lame vibrante et un bûlloir de contact. On a ainsi quatre lames

vibrantes ou vibrateurs V, V, V, V, et quatre contacts C, C, C, C. Chaque fois qu'un des vibrateurs touche son contact, la dérivation est fermée sur le groupe de pile correspondant et le courant est affaibli; dès que la dérivation s'ouvre de nouveau, le courant reprend son intensité première. Or, les vibrateurs, mis en action chacun par un système magnéto-électrique spécial, sont constamment animés d'un mouvement vibratoire déterminé, et le nombre de vibrations de chacun d'eux est le même que celui d'une des tiges de l'appareil réceptrice; c'est-à-dire que V₁ aura un nombre de vibrations égal à celui de la note que donne B₁; V₂, le nombre des vibrations correspondant à la note de B₂, etc. Chaque vibrateur déterminera donc dans le courant des variations très rapides et produira une série d'ondes électriques en rapport avec le nombre de vibrations qu'il effectue. Tous les vibrateurs étant en action en même temps, il passera, par suite, dans la ligne, quatre séries d'ondes électriques distinctes, et chacune de ces séries d'ondes trouvant au poste réceptrice une tige en accord avec elle et susceptible de vibrer sous son influence, toutes les tiges B, B, B, B, entreront en vibration.

« Si maintenant on arrête un des vibrateurs, la série d'ondes électriques qui lui correspond est supprimée

et la tige correspondante cesse de vibrer. Si on arrête deux, trois ou quatre vibreurs, on produira l'arrêt de deux, trois ou quatre tiges correspondantes. Ces arrêts pourront être entendus à la station réceptrice, et, en faisant des arrêts courts et longs, on pourra constituer une sorte d'alphabet Morse et transmettre simultanément quatre dépêches différentes.

« Tel est, réduit à sa plus simple expression, le système de transmission harmonique de M. Gray. Mais il est évident que, dans la pratique, des dispositions toutes spéciales ont dû être prises pour en assurer le bon fonctionnement. »

La description détaillée des appareils, qui sont assez compliqués, nous entraînerait à de trop longs développements. Nous nous bornerons donc à rappeler que le télégraphe harmonique de M. Gray avait été installé et fonctionnait à l'Exposition d'Electricité de Paris en 1881. Ce système avait été expérimenté en Amérique à la fin de l'année 1880 sur les fils de la Western Union, entre New-York et Boston, à une distance d'environ 320 kilomètres. L'essai avait été fait dans des conditions défavorables, car le fil employé était voisin d'autres fils sur lesquels travaillaient neuf quadruplex et le courant de ces appareils avait créé des difficultés toutes spéciales au point de vue de l'induction dans les fils voisins, en raison de l'emploi de fortes piles et des fréquents changements de sens.

Dans une des expériences, cinq employés ont transmis dans l'espace de neuf heures 2124 dépêches, soit 236 dépêches par heure ou 47 dépêches par heure et par employé.

À la suite de ces expériences une compagnie s'est constituée pour exploiter le système.

Le duplex harmonique, qui est une modification du système qui vient d'être décrit, est employé, paraît-il, en Amérique, sur plusieurs lignes de chemins de fer.

Télégraphe multiple de M. Williot. — M. Williot a cherché à résoudre le problème suivant : donner le

moyen à un poste télégraphique pourvu d'appareils Morse d'échanger simultanément, et en se servant d'un seul fil, des dépêches avec un ou plusieurs autres postes, en laissant aux appareils en correspondance une indépendance relative qui permette de les employer aussi dans les conditions ordinaires. Il emploie pour cela le procédé de transmission du télégraphe automatique de Wheatstone, qui consiste à avoir au poste transmetteur un distributeur donnant successivement la ligne aux divers récepteurs et un frotteur spécial de pile locale réagissant sur un relais placé dans le récepteur, relais dont la fonction est de produire automatiquement le déclenchement du récepteur quand le distributeur met la ligne en relation avec lui. Ce relais se compose de deux électro-aimants ayant deux armatures communes : l'une de ces armatures est aimantée et attirée seulement lorsque l'électro-aimant reçoit des courants de sens alternatif, l'autre est en fer doux et est, par suite, constamment attirée quel que soit le sens du courant qui arrive dans l'électro-aimant. C'est cette armature de fer doux qui maintient le récepteur déclenché tant que le frotteur du transmetteur ferme le circuit de la pile locale. Le déroulement de la bande de papier est commandé par un mécanisme à frein qui peut donner à volonté deux vitesses différentes de déroulement. De plus, la vitesse du déroulement est maintenue uniforme par un double mouvement d'horlogerie dont l'un n'est jamais arrêté.

Enfin, le poste transmetteur est muni d'une clef à inversions de courant qui sert à manipuler lorsque le poste effectue une transmission simple; dans ce cas on coupe la communication du récepteur avec le distributeur et on modifie la vitesse de déroulement de la bande.

Télégraphe multiple à synchronisme de M. Delany. — M. Delany a imaginé un système télégraphique multiple basé, comme ceux de M. Meyer et de M. Bandol, sur le synchronisme d'organes identiques

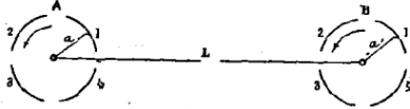


Fig. 40.

placés en deux endroits différents et sur le principe de la division du temps qui consiste à répartir l'usage d'une ligne de telle sorte que plusieurs télégraphistes possèdent alternativement et pour de très courtes périodes de temps la libre disposition de la ligne.

Voici une description sommaire de ce système, d'après une note publiée dans le *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*.

Supposons qu'à chacun des deux postes reliés par une ligne L (Fig. 40) se trouvent des bras a et a' en communication électrique avec cette ligne, animés d'un mouvement uniforme et simultané et formant contact avec 4 segments (1, 2, 3, 4), lorsqu'ils y passent. Supposons en outre que ces segments soient reliés à une série d'appareils télégraphiques semblables. On comprend que les 4 appareils de l'un des postes seront en communication directe avec les 4 appareils de l'autre poste, lorsque les bras a et a' frotteront sur les segments correspondants. Pour chaque révolution des bras les appareils reliés au segment n° 1, par exemple, seront mis une fois en communication di-

recte entre eux; de même pour les autres appareils reliés aux segments 2, 3 et 4. On conçoit maintenant que si chaque grand segment est divisé en plusieurs autres, et que si chacun de ces nouveaux segments est relié à un appareil correspondant dans l'ordre précédemment établi, à chaque rotation complète des bras les 4 appareils seront mis en relation un grand nombre de fois. Ainsi, en supposant que la circonférence de contact soit formée de 40 segments à 4 divisions chacun, les 4 appareils de chaque poste en correspondance seront mis, pendant chaque révolution des bras, 40 fois en communication directe.

Cette circonférence de contact constitue le *distributeur*, et ses segments sont disposés ou groupés différemment suivant que l'on veut envoyer en même temps 2, 3, 4, 5 ou 6 dépêches. C'est ce que l'inventeur appelle le *groupement diode, triode... hexode*. Le bras tournant a, qui dans son mouvement de rotation (de droite à gauche) se met successivement en contact avec chaque secteur, constitue le *chariot*.

Les courants électriques envoyés sur la ligne dépendent des mouvements des manipulateurs de trans-

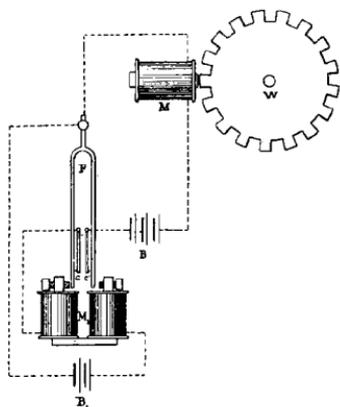


Fig. 41.

mission télégraphique et sont brisés ou subdivisés en

pulsations courtes et rapides par les contacts momentanés du chariot.

Il faut que les mouvements des chariots des deux postes correspondants soient parfaitement synchrones. Ce synchronisme s'obtient par un appareil analogue à celui imaginé par M. Paul de La Cour, de Copenhague, et dont voici le principe : un diapason F vibre entre les deux pôles d'un électro-aimant M_1 , et deux contacts c, c' (fig. 41).

Le premier de ces contacts c ferme le circuit de la pile B et d'un autre électro-aimant M; le deuxième contact c' complète le circuit de la pile B₂ et de l'électro-aimant M. Chaque fois que le diapason vient toucher le contact c' , le courant est envoyé dans l'électro M, dont le noyau s'aimante à chaque mouvement de va-et-vient. En face de cet électro se trouve une roue dentée en fer W, de sorte que chaque aimantation de M exerce une attraction momentanée sur la dent la plus rapprochée; lorsque cette dent s'approche du pôle magnétique, le mouvement s'accélère; si, au contraire, la dent s'en éloigne au moment où l'aimantation se produit, le mouvement est retardé. Il résulte de là que la roue est animée d'un mouvement uniforme très accéléré. L'électro-aimant M est également aimanté et maintient le diapason en vibration constante.

Dans l'appareil de M. Delany, la roue W, dite roue phonique, est remplacée par une anche en relation avec le distributeur (roue à segments, dont il a été parlé plus haut).

La fig. 42 permet de se rendre compte de l'agencement général du système :

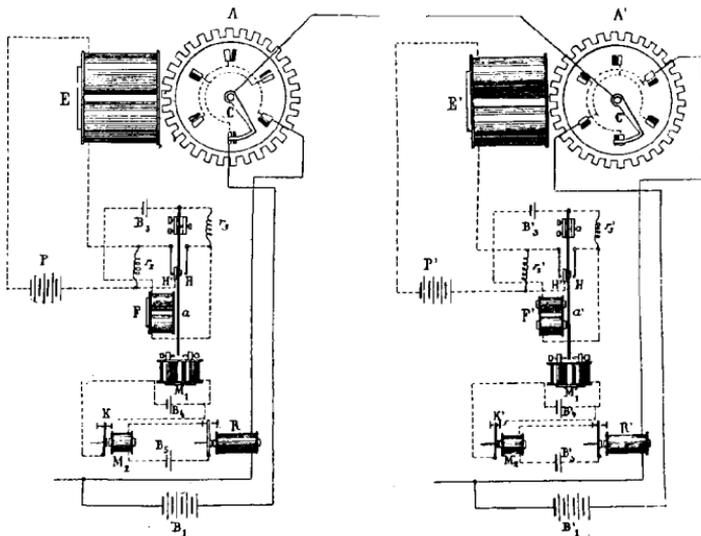


Fig. 42. — Disposition générale du Télégraphe de M. Delany.

Une roue en fer dentée A qui entraîne le chariot C est placée devant les pôles d'un électro-aimant E magnétisé régulièrement par une pile P dont le courant est transmis à chaque contact de l'anche a avec H. La

roue dentée est animée ainsi d'un mouvement de rotation uniforme, puisque les courants d'impulsion étant dus aux vibrations de l'ancre, le mouvement de cette roue A suivra exactement ces vibrations. Des résistances r_1 et r_2 sont placées en dérivation sur les contacts H et H' pour empêcher les étincelles. Les vibrations de l'ancre sont maintenues (comme l'étaient celles du diapason dans le système de M. de La Cour) par un électro-aimant F, mis en activité par une pile B₃ à chaque fermeture du contact en H. L'extrémité de l'ancre vibre entre les pôles de l'électro-aimant M₁, excité par une troisième pile B₁ chaque fois que le circuit se trouve fermé par la pièce K, c'est-à-dire chaque fois que cette pièce est attirée par l'électro-aimant M₂. Cet électro est animé par une pile B₂. C'est un relais R actionné par les courants électriques envoyés par le distributeur du poste correspondant qui ouvre ou ferme le circuit de cette pile B₁. La vitesse normale de la vibration de l'ancre peut être réglée par un poids à déplacement ou par tout autre moyen.

Les appareils télégraphiques consistent, suivant l'usage américain, en de simples parleurs. Le relais R fait fonctionner un autre relais (non figuré sur le dessin), qui, à son tour, actionne le parleur. Les secteurs du distributeur sont séparés les uns des autres par des contacts à la terre, afin de permettre l'écoulement à la terre de la charge statique qui se produit entre chaque émission de courant. Les écarts dans le synchronisme sont corrigés par des courants de correction envoyés par le distributeur du poste en correspondance.

Le système Delany est complètement automatique dans son fonctionnement et il maintient le synchronisme avec une exactitude qui n'a jamais été obtenue jusqu'ici. Le distributeur fait 3 révolutions et établit 257 contacts par seconde quand il est monté en hexode, c'est-à-dire quand on envoie en même temps 6 dépêches.

Le système, qui est du reste dans son enfance, présente cela d'intéressant qu'il ne modifie pas les moyens employés usuellement en télégraphie; ainsi, on se sert de manipulateurs ordinaires et de PARLEURS comme récepteurs; chaque employé possède un circuit indépendant, évitant ainsi les retards qui peuvent venir de son correspondant, comme il arrive avec le QUADRUPLEX.

Télégraphe sextuple système Field. — Ce système repose sur ce fait, bien établi maintenant, que des courants de genres différents peuvent, sans se gêner réciproquement, être envoyés simultanément sur un même fil et faire fonctionner, à l'extrémité de ce fil, des récepteurs construits de telle sorte qu'ils ne soient actionnés chacun que par des courants d'une seule sorte.

Le système Field utilise des courants de trois natures différentes : 1° un courant continu, d'intensité variable, actionnant un RELAIS NEUTRE; 2° un courant alternatif actionnant un relais polarisé; 3° un courant ondulatoire rapide agissant sur le diaphragme d'un RELIÈVON. Chaque espèce d'appareils fonctionnant en duplex, la ligne peut servir à transmettre 3 dépêches dans chaque sens, soit 6 dépêches simultanées.

Les courants sont fournis par deux petites MACHINES DYNAMO. L'une produit le courant continu destiné au relais neutre et le courant qui, par l'intermédiaire d'un manipulateur inverseur, actionne le relais polarisé; l'autre donne naissance au courant ondulatoire nécessaire au relais téléphonique.

Dependant une difficulté se présentait : le courant continu servant pour le relais neutre étant choisi de

sens convenable, n'a pas d'action sur le relais polarisé; mais les courants inversés utilisés pour le relais polarisé affecteraient le relais neutre.

M. Field a résolu le problème d'une manière simple et ingénieuse en disposant le relais neutre comme l'indique la fig. 43.

Nous rappellerons d'abord que le passage de courants alternatifs maintient en vibration l'armature d'un relais neutre, avec des interruptions de contact à chaque inversion. Ce sont ces vibrations qu'il s'agit d'éviter. Pour cela M. Field a allongé le noyau de la bobine principale E et a monté sur ce prolongement une deuxième bobine B en communication permanente avec une troisième bobine C, dont le noyau H a pour armature un petit cylindre de fer doux D fixé sur l'extrémité du levier du relais. A chaque inversion de courant, le noyau de la bobine principale E, cessant de subir toute influence d'alimentation dans l'intervalle qui sépare deux polarités successives, a une tendance à abandonner l'armature du levier L. Mais au moment de l'inversion, un cou-

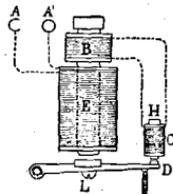


Fig. 43. — Relais Field.

rant induit se produit dans la bobine B, passe dans la bobine C dont il aimante le noyau H, et attire le cylindre de fer doux D. Le levier soumis à deux influences attractives successives devient ainsi insensible aux courants inversés. C'est sur le même principe qu'est fondé le télégraphe imprimeur de M. Hayet dont il a été question plus haut. (V. APPAREILS IMPRIMEURS, page 851.)

Les trois genres de relais de M. Field sont, du reste, à enroulement différentiel, comme dans le duplex ordinaire.

Ce système, parait-il, fonctionne très bien et est très facile à régler.

TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE. — Le télégraphe étant un moyen d'action rapide et précis, on a bienôt cherché à l'utiliser pour faciliter la transmission des ordres dans les opérations militaires. Depuis la guerre de Crimée un service télégraphique a été organisé dans l'armée française. Les lignes télégraphiques destinées à concourir aux opérations militaires doivent être établies uniquement en vue de leur objet spécial, le tracé pouvant en être modifié chaque jour, suivant les ordres du général en chef. Les lignes aériennes exigent beaucoup de matériel, mais sont néanmoins préférables. On prépare des poteaux taillés en pyramides à construire; on enroule les fils sur des tambours placés dans des camions spéciaux, de manière qu'ils puissent se dérouler sans que ces voitures aient besoin de s'arrêter. Les appareils employés sont ceux du système Morse et donnent de bons résultats.

La *télégraphie* peut être encore utilisée dans une bataille pour la transmission des ordres prescrivant les mouvements des troupes.

Tout corps d'armée en campagne possède donc un service télégraphique. Dans certains pays ce service est confié à un corps spécial pris dans l'arme du génie et chargé de tous les autres travaux militaires concernant l'électricité. Suivant certains auteurs, M. Von Massembach notamment, capitaine attaché au corps des ingénieurs de Bavière, qui a publié un travail sur la télégraphie de guerre, en 1885, dans les *Annales de l'armée et de la marine allemandes*, la télégraphie militaire trouve sa vraie place dans la guerre de forteresse. Le télégraphe d'avant-postes construit pour

la guerre de forteresse par Buehholz-Siemens (télégraphe qui a attiré l'attention des ingénieurs et des tacticiens) présente, selon cet auteur, beaucoup de points faibles, surtout dans la ligne. Ce télégraphe a été essayé en Allemagne pendant les grandes manœuvres, et en Russie. Il faut tenir compte, dit l'officier bavarois, que pendant une guerre les stations d'avant-postes peuvent être prises à marche immédiatement, mais que l'installation des lignes ne peut pas être instantanée; l'approvisionnement limité des câbles est une source de difficultés constantes, et cette remarque s'applique aussi à la téléphonie. Quoiqu'il en soit, voici quelques détails sur le matériel de télégraphie militaire en usage en France, en Amérique,

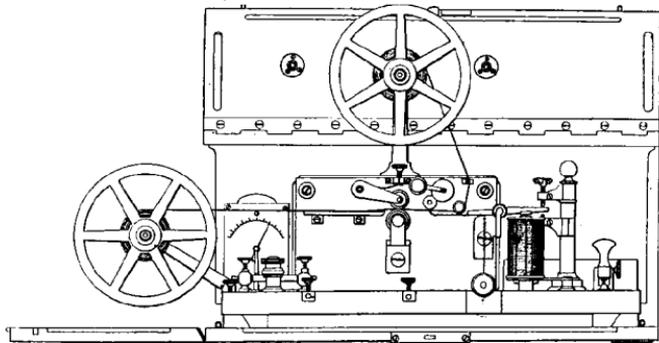


Fig. 1. — Vue en élévation d'un appareil Morse portatif.

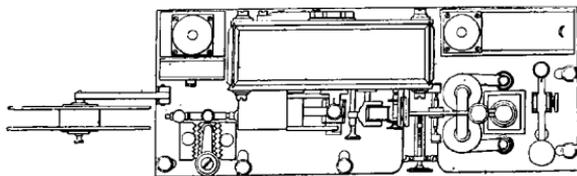


Fig. 2. — Vue en plan d'un appareil Morse portatif.

en Autriche, en Belgique et en Suède. (Ces documents sont extraits des rapports du jury de l'Exposition internationale d'Électricité de Paris en 1881, où ce matériel figurait.)

France. — La voiture-poste, montée sur quatre roues, est divisée en deux compartiments; à l'arrière est installée une table de manipulation pour deux postes à deux fils chacun. La voiture contient deux appareils Morse portatifs, dont les fig. 1 et 2 donnent la vue en plan et en élévation, deux PARLEURS, deux SONNERIES, deux TÉLÉMOSES, trois PILES, une cuisse à eau, 1 kilomètre de câble léger sur deux bobines, les outils, imprimés, etc., nécessaires pour l'installation et l'exploitation d'un poste, et enfin un appareil optique de campagne.

L'appareil Morse est enfermé, pour les transports, dans une boîte spéciale de faible volume; il com-

porte : un récepteur, un manipulateur, un GALVANO-MÈTRE, un PARATONNERRE, un rouet, des COMMUTEURS, etc., en un mot tous les organes d'un poste à l'exception de la pile et de la sonnerie.

Le parleur, dont les parois latérales sont en tôle, se compose d'un ÉLECTRO-AIMANT boîtier, avec son armature et un manipulateur superposés et montés sur plaques en ébonite. Un commutateur permet de correspondre dans les conditions ordinaires ou de faire passer le courant par l'armature et la borne de repos; dans ce cas la palette vibre pendant toute la durée de chaque signal et produit ainsi un roulement qui facilite la lecture au son (système GRAS). La pile se compose de douze couples Leclanché renfermés dans une boîte à compartiments. Les vases extérieurs des couples sont en ébonite et garnis d'éponges imbibées d'eau.

Le câble léger est formé d'un toron de trois fils

de 4/10 de millimètre de diamètre, dont deux en fer et un en cuivre recouverts d'un goupillage de coton imprégné d'un isolant spécial et d'une trease goudronnée; ce câble a un diamètre total de 2,7 millimètres et présente une résistance à la traction de 40 kilogrammes.

La télégraphie militaire emploie aussi un chariot attelé à quatre chevaux qui contient : un appareil Morse et une pile à l'intérieur, sept bobines en toile contenant chacune 1 kilomètre de câble de compagnie, une bobine de 2 kilomètres de fil de fer de 2 millimètres de diamètre, une brouette pour le déroulement du câble dans les endroits inaccessibles au chariot, une caisse à eau, quatre caisses renfermant des isolateurs en ébonite, des crochets pour poser le câble aux murailles ou aux arbres, une pile et un parleur pour les essais de ligne, les outils et instruments nécessaires pour le raccordement des câbles, la pose ou la réparation des lignes, six perches triples, dix-huit perches doubles, des échelles, des lances à fourche, piquets de terre et divers outils de plantation et de terrassement.

Le câble de campagne est composé de sept brins de fil de cuivre de 4/10 de millimètre tordus ensemble, recouverts de gutta-percha, d'un ruban caoutchouté et d'une enveloppe en filin tressé enduite de goudron. Il a un diamètre total de 5 millimètres; il pèse 28 kilogrammes par kilomètre et résiste à un effort de traction de 80 kilogrammes. Le déroulement et l'enroulement du câble se font à la main en marchant.

Les perches sont formées de tubes creux en fer de 2^m,25 à 2^m,40 de long, avec pointe acérée, entrant l'un dans l'autre et munis de vis de pression; le tube supérieur est armé d'une lige destinée à recevoir l'isolateur. Les perches doubles donnent une hauteur de 4 mètres avec un diamètre de 32 millimètres à la partie inférieure; elles pèsent 6 kilogrammes. Les perches triples ont une hauteur de 6 mètres avec un diamètre de 4 centimètres; elles pèsent 12 kilogrammes.

Les outils principaux sont : le perforateur, cylindre en fer de 0^m,30 de long sur 4 centimètres de diamètre, avec pointe et tête acérées qu'on enfonce à coups de masse en terre pour faire les trous destinés à recevoir les perches; le commutateur de lignes, composé de deux mâchoires avec barres fixées aux extrémités d'une plaque isolante, et qui permet de couper un fil sans modifier le réglage et sans se servir de moulles.

Enfin, parmi le matériel télégraphique il convient de mentionner encore la dérouleuse, voiture montée sur deux roues et munie d'un appareil de déroulement à l'arrière. Elle sert aux constructions de lignes dans les chemins de traverse ou sur des routes étroites occupées par des colonnes en marche. La voiture contient sept bobines garnies de câble, trois bobines vides, un parleur, une caisse à eau, des outils de plantation et de terrassement, et elle peut recevoir quatre perches doubles.

La Guerre emploie encore un appareil télescopique pour télégraphie optique (système Mangin). La source lumineuse est une lampe électrique alimentée par une machine Gramme que font tourner deux hommes, et qui a une puissance d'environ dix couples Bunsen.

Signal Office (Amérique). — Le matériel américain se compose d'une voiture-poste, d'une voiture à fils et d'un chariot pour poteaux.

La voiture-poste est une sorte de tapissière montée sur quatre roues. A l'intérieur il y a quatre tablettes, sur chaque tablette est un parleur avec manipulateur; les télégrammes sont reçus au son. La pile est au

sulfate de cuivre, et chaque couple se compose d'un vase de plomb au fond duquel on met des cristaux de sulfate de cuivre recouvert d'une éponge, puis de copeaux de sapin; sur ces copeaux repose un disque de zinc muni d'une tige. Le vase est rempli d'eau et de copeaux. Une petite planchette fixée à chaque paroi du vase empêche le contact entre ce vase et le disque de zinc.

La voiture à fils, semblable à la précédente, contient du fil nu de 3 millimètres de diamètre, en courones, une tablette sur laquelle on peut installer un parleur et à l'arrière un système pour l'enroulement automatique des fils. Ce système se compose d'un plateau horizontal portant un dévidoir que font mouvoir deux frotteurs cylindriques dont le mouvement est commandé par une des roues; en rapprochant ou éloignant les frotteurs de l'axe du plateau on peut accélérer ou ralentir la vitesse d'enroulement.

Le chariot est une prolonge traînée par quatre chevaux et portant 300 perches de sapin, des isolateurs et des outils de plantation et de pose de fils; ces perches ont 5^m,50 de long et pèsent 4 à 5 kilogrammes; elles sont armées au sommet d'une ferrure percée d'un trou vertical dans lequel on visse la lige d'un isolateur et d'un trou horizontal qui peut recevoir une patte en fer munie également d'un isolateur. Ces isolateurs sont en ébonite; ils sont surmontés d'un double crochet dans lequel on introduit le fil qui se trouve ainsi arrêté.

Autriche. — En Autriche, la télégraphie militaire emploie une voiture-poste et un chariot.

La voiture-poste est montée sur quatre roues; elle contient : deux appareils Morse à points sèche et à relais enfermés dans des boîtes à deux compartiments avec des accessoires et des outils; un parleur avec manipulateur, petite moussole et manette pour la transmission à courant continu montés sur plaque en ébonite et enfermés dans une gaine de cuir; un galvanomètre dans un écrin et deux piles. Sous la table de manipulation se trouve une bobine de câble léger qui peut, sans être déplacée, être enroulée ou déroulée par une ouverture pratiquée à l'arrière de la voiture. Les piles sont formées de dix couples Marié Davy, enfermés dans des boîtes spéciales. Chaque couple se compose d'un vase d'ébonite divisé en deux compartiments par une plaque poreuse; d'un côté de cette plaque se trouve le sulfate de mercure, de l'autre de la sciure de bois imbibée d'eau. Le vase est fermé hermétiquement à l'aide d'une rondelle d'ébonite garnie de caoutchouc portant une plaque de charbon qui plonge dans la pâte de sulfate de mercure et un bâton de zinc enfoncé dans de la sciure de bois mouillée.

Le chariot est divisé en trois parties sur sa hauteur. Il contient : quatre bobines de câble de 500 mètres chacune, 70 perches en bambou armées d'isolateurs en ébonite, des échelles, des lances à fourche, des outils de plantation, etc. A l'avant se trouvent quatre bobines portant chacune 1 kilomètre de fil de cuivre nu de 1 millimètre de diamètre. Les perches ont 3^m,40 de hauteur, 4 à 5 centimètres de diamètre, et pèsent de 1 à 2 kilogrammes. On peut les accoupler à l'aide de deux colliers doubles en fer avec vis de serrage. Le câble est formé d'un toron de sept brins de cuivre étamé de 1/2 millimètre, recouvert de caoutchouc, puis de toile goudronnée et d'une enveloppe extérieure en filin goudronné. Le diamètre total est de 6,5 millimètres.

Belgique. — En Belgique, la voiture-poste attelée de six chevaux est divisée en deux compartiments;

graphiste doit revenir à son point de départ, il enroule le câble sur la bobine en se servant d'une manivelle qui s'emmanche sur le bout de droite de l'axe de cette bobine. Cet enroulement doit être fait par un aide. Si on veut établir une correspondance entre deux points éloignés de plus de 4.000 mètres, il suffit d'ajouter au premier télégraphiste un second



Fig. 4. — Montre télégraphique.

soit porteur d'un crochet et d'une bobine identiques; quand l'un des porteurs aura épuisé son câble, le second commencera à dérouler le sien après avoir

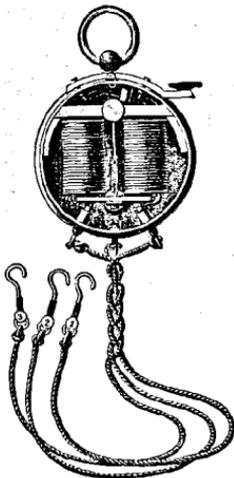


Fig. 5. — Parleur.

été établi la liaison entre les deux câbles au moyen de petits mousquetons ingénieusement combinés, et ainsi de suite si l'on veut augmenter encore la distance des deux postes en correspondance.

Quant aux appareils télégraphiques eux-mêmes, ils peuvent être de deux sortes :

L'un est un télégraphe à cadran très analogue au

télégraphe Bréguet; l'autre est un appareil du système Morse à lecture au son ou PARLEUR.

Le télégraphe à cadran, désigné par M. Trouvé sous le nom de *montre télégraphique* en raison de ses petites dimensions et de la forme qui lui a été donnée, est représenté *fig. 4*. Elle contient tous les organes du récepteur et du manipulateur Bréguet; on remonte le rouage du récepteur à l'aide du remontoir, l'aiguille de ce récepteur est représentée sur la figure (elle a sa pointe dirigée sur la lettre S). On manipule à l'aide de l'autre aiguille, qui sur la figure est dirigée vers la croix.

Le parleur est représenté en demi-grandeur (*fig. 5*). Il a la dimension d'une grosse montre et peut être porté dans un goussot. La boîte est en laiton nickelé.

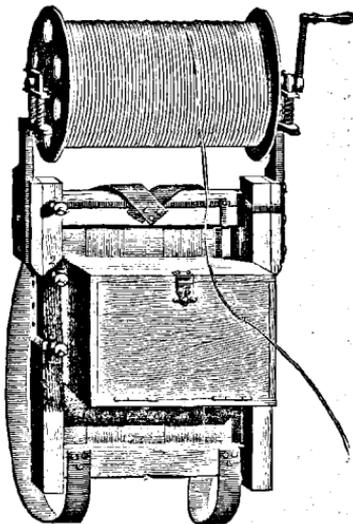


Fig. 6. — Vue du Crochet portant le câble et la pile.

On a figuré l'instrument avec l'un des fonds enlevé, pour montrer le mécanisme, qui est très simple. Son principal organe est un électro-aimant dont l'armature, placée en dessous, a un mouvement de faible amplitude autour d'un axe. Cette armature vient, par un petit appendice, frapper un bouton monté sur le fond de la boîte. Ces coups font un bruit suffisant avec une pile convenable pour permettre facilement la lecture, sans même qu'il soit nécessaire de mettre l'appareil près de l'oreille, attendu que la boîte du parleur sert de caisse de résonance. Le manipulateur ou clef Morse est placé à l'extérieur de la boîte; c'est un petit levier qui pivote autour d'un axe et dont l'extrémité est relevée; la manipulation peut se faire avec le bout de l'index de la main droite, la boîte étant tenue dans la main gauche. (Précédemment M. Trouvé avait réalisé une autre disposition encore plus compacte : la manipulation se faisait par un bouton placé dans l'anneau de la belière, comme est le bouton de remontoir dans les montres qui se remontent sans clef.)

Trois fils conducteurs isolés sont attachés à l'appareil et servent à le relier à la pile et aux deux lignes. Ces conducteurs sont formés chacun de plusieurs fils de cuivre très fins, tressés, ce qui donne une grande souplesse à l'ensemble. Le petit crochet qui les termine est numéroté, et ses numéros correspondent à ceux des boulons de la caisse à pile (v. fig. 6.) Cette pile est celle dite « pile humide, système Trouvé » (v. fig. 13.) Elle est composée de trois boîtes superposées en caoutchouc durci; chaque boîte contient trois couples.

Signalons aussi, pour la télégraphie militaire, l'emploi du MAGNÉTO-PARLEUR et du TÉLÉAL du colonel W. Jacobi.

Le service militaire emploie, concurremment avec la télégraphie électrique, la télégraphie optique. (V. TÉLÉGRAPHIE A SIGNAUX AÉRIENS.)

TÉLÉGRAPHIE MUNICIPALE. — Les télégraphes de quartier rondent dans certaines villes de grands services comme avertisseurs des incendies, et même comme organe de correspondance particulière et de surveillance municipale. Nous avons indiqué, au mot **AVERTISSEUR**, le principe du fonctionnement des appareils télégraphiques employés depuis quelques années, à Paris, pour appeler les pompiers en cas d'incendie.

Télégraphe de quartier. — Le manipulateur de l'appareil employé en Amérique, avant l'in-

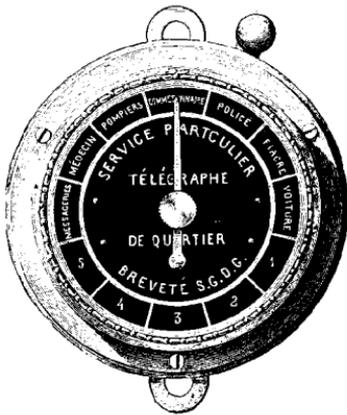


Fig. 1.

vention du TÉLÉPHONE, pour les correspondances de quartier, se présente sous la forme d'une petite boîte ronde (fig. 1) fermée par un cadran au centre duquel est une aiguille. Le cadran est divisé en un certain nombre de cases portant chacune une indication spéciale. Pour se servir de l'instrument on abaisse le levier que l'on aperçoit au dehors, ce qui a pour résultat de mettre en action au poste récepteur une sonnerie d'appel. Lorsqu'en l'absence de réception, on met l'aiguille sur la case où se trouve l'indication qu'on veut transmettre, et le poste correspondant reçoit alors un signal indiquant l'ordre transmis. Le mécanisme à l'aide duquel s'opère cette transmission est

simple : la boîte renferme une sonnerie et un ressort d'horlogerie qui tend constamment à faire tourner une roue dentée appuyant contre un ressort. Chaque fois qu'une dent passe sur ce contact, elle envoie un courant qui produit, au poste récepteur, un trait sur une bande de papier qui déroule. On comprend qu'en disposant convenablement les dents de la roue on puisse produire au poste récepteur l'impression de figures formées d'un nombre déterminé de traits correspondant à une inscription déterminée. On connaît ainsi le poste qui a appelé et on sait ce qu'il demande.

Télégraphes municipaux et de police. — Le télégraphe de quartier est appliqué avec succès aux États-Unis pour les services municipaux et de police.

Chaque poste de police sert de point de départ à



Fig. 2.

un certain nombre de circuits aboutissant à des postes de télégraphe de quartier. Ceux-ci sont placés sous des gâchettes spéciales installées dans les rues et dont les chefs de police ont la clef, soit chez divers citoyens qui peuvent en faire usage et auxquels chacun peut s'adresser. Le cadran de l'appareil (fig. 2) porte les indications correspondant à tous les cas pressants. Cet appareil se manœuvre comme nous l'avons indiqué plus haut. Le poste central de police se trouve donc prévenu sans retard de tous les faits qui peuvent l'intéresser. La gâchette spéciale qui renferme les télégraphes de quartier contient aussi un poste téléphonique.

TÉLÉGRAPHIE OPTIQUE. — (V. TÉLÉGRAPHIE A SIGNAUX AÉRIENS OU OPTIQUES.)

TÉLÉGRAPHIE PNEUMATIQUE. — Le télégraphe pneumatique reçoit de jour en jour plus de développement et sert, concurremment avec le télégraphe électrique, pour la transmission des dépêches échangées entre les divers quartiers d'une ville. L'électricité ne transmet les dépêches que par la division des signaux et l'envoi successif de chacun d'eux; quand le fil est encombré, les dépêches attendent. On met alors deux, trois fils; mais on ne saurait aller bien loin dans ce système sans accroître outre mesure les frais d'exploitation. Le budget de l'entreprise n'est

mente encore par le fait que le personnel doit être proportionné aux besoins des périodes d'encombrement et devient trop nombreux pour les périodes moyennes. Le télégraphe pneumatique procède d'une autre façon : il prend toutes les dépêches à la fois et les place dans une boîte que l'air comprimé pousse jusqu'à destination. Il n'y a plus ici ni encombrement ni erreurs de transmission; la vitesse ne dépend que de la puissance des appareils de production d'air; on obtient aisément 1 kilomètre par minute.

Les applications de la télégraphie pneumatique datent de 1853 pour Londres, et de 1866 pour Paris et pour Berlin. La partie la plus importante de cette télégraphie est, sans contredit, l'établissement des lignes. M. Bontemps, Ingénieur des Télégraphes, a traité cette question d'une manière très complète dans les *Annales télégraphiques* (1874-1875). En voici des extraits.

Tubes. — A Paris, les tuyaux sont en fer étiré, soudés à recouvrement, par bouts de 5 à 6 mètres, d'un diamètre de 65 millimètres (tolérance, 1 millimètre). Ils sont posés horizontalement sur la ligne et se relèvent en courbe de 4 à 5 mètres de rayon à l'approche des postes. La profondeur moyenne est de 1 mètre dans le sol. On place les tubes dans les égouts, ou en terre lorsque le raccordement des égouts est trop brusque. Dans le premier cas, ils sont en galerie; dans le second, en tranchée. Pour éviter le dépôt d'humidité amené par l'air dans les points bas, on y place des siphons purgeurs, que l'on vide à volonté.

Curseurs. — Les appareils de transmission ou curseurs contenant les dépêches ont un format déterminé par celui des télégrammes. Ce sont des boîtes

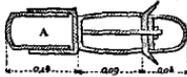


Fig. 1.

cylindriques A (fig. 1) à double enveloppe, l'une extérieure, en cuir, l'autre intérieure, en tôle; elles contiennent trente-cinq plis et pèsent alors 355 grammes. On forme un train avec plusieurs boîtes placées à la suite l'une de l'autre. Un piston tronconique en fer creux, muni d'une rondelle de cuir circulaire, transmet aux boîtes la pression de l'air comprimé; une vis assure la solidité des pièces du piston, qui pèse 585 grammes. Le nom de chaque bureau est inscrit sur les boîtes et rend le triage plus facile. Les dimensions sont vérifiées au moyen d'un calibre et donnent pour minimum du rayon des courbes à adopter pour les tuyaux 1^m,16.

Appareils d'envoi et de réception.

— La fig. 2 rend compte de la disposition de ces appareils. T^t est le tube de la ligne; P une porte qui s'ouvre et permet de recevoir ou d'envoyer les dépêches; R, R', deux robinets ouvrant, l'un le tuyau d'échappement E, l'autre le tuyau de compression C. Pour expédier un train, on le dispose dans le tuyau T au moyen de la porte P, qu'on ferme ensuite; puis on ouvre R' et on ferme R; l'air comprimé chasse le train. Pour recevoir, on ferme R', on ouvre R; l'air refoulé s'échappe, le train arrive et on le saisit par la porte P. C'est ainsi qu'est disposé un récepteur vertical. On a fait des récepteurs horizontaux; on en a fait aussi pour les stations intermédiaires,

permettant d'utiliser sur les deux branches d'un embranchement la pression d'une tête de ligne, avec

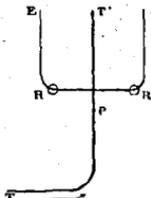


Fig. 2.

faculté d'arrêter le train momentanément pour en retirer les dépêches destinées au bureau intermédiaire.

Compression de l'air. — L'air est introduit dans les tubes sous une forte pression par la disposition suivante. On accumule l'eau des canaux d'alimentation dans un grand réservoir primitivement plein d'air, qui se rend en se comprimant dans un autre réservoir déjà plein d'air, d'où on peut le faire s'échapper sur la ligne. On vide ensuite le grand réservoir au moyen d'un tube qui en rejette l'eau dans l'égout. Ou a même pu utiliser la vitesse d'arrivée de l'eau pour produire l'entraînement d'une certaine quantité d'air, comme cela se produit dans les trompes catalanes. On a encore facilité la traction en raréfiant l'air au poste d'arrivée, ce qui se fait facilement en déversant l'eau du grand réservoir dans un tube ayant plus de 10^m,33 de profondeur. Le déplacement simple de l'eau du réservoir donne un volume d'air égal au volume V du réservoir. Le déplacement avec entraînement d'air donne 4,465 V. Le prix de ce dernier mode, par kilomètre, est de 0 fr. 191. Le déplacement avec utilisation du vide à l'arrivée coûte 0 fr. 141; le déplacement simple coûtait 0 fr. 282.

On a utilisé pour l'alimentation d'eau et d'air des pompes et des turbines; la vapeur a dû être employée dans certains points du réseau où la pression de l'eau n'était pas suffisante. La compression par turbine conduit à une unité de dépense de 0 fr. 184; elle permet d'atteindre une vitesse de 1 kilomètre par minute; l'alimentation ordinaire exige une minute et demie pour ce parcours. Dans le cas où l'on utilise l'aspiration du vide, le prix du voyage s'abaisse à 0 fr. 14; mais les turbines ont l'inconvénient d'échauffer les garnitures. La vapeur a rendu de grands services, et les pompes actionnées par une machine à vapeur, à La Villelte, donnent une unité de dépense très faible.

TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE. — La transmission des signaux télégraphiques ne s'effectue pas sur les longues lignes sous-marines d'après la loi D'OHM. Sir W. Thomson a montré par le calcul, et l'expérience l'a prouvé, que lorsqu'on lance un courant dans une ligne il ne se manifeste que peu à peu au poste d'arrivée, d'abord insensible, puis très faible et croissant par degrés pour n'atteindre sa valeur définitive qu'au bout d'un temps assez long. De même si le poste de départ envoie non plus un courant continu, comme nous l'avons supposé plus haut, mais un courant de durée limitée, l'extinction du signal ne se produit pas instantanément à l'arrivée; c'est par une chute graduelle que le courant tombe de la valeur qu'il avait à l'instant où le poste de départ

a rompu le contact à la valeur zéro. Si l'appareil récepteur ne fonctionne que sous une certaine intensité de courant, il restera immobile tant que le flux électrique qui commence à l'atténuer n'a pas encore pris la valeur voulue; il fonctionnera alors et continuera d'agir tant que l'intensité ne sera pas redescendue au-dessous de la valeur voulue. Par suite, plus cet appareil sera sensible, plus il sera prompt à fonctionner (1). Mais, par contre, une grande sensibilité aurait un inconvénient, attendu qu'une transmission se compose d'une série de signaux se succédant à de très faibles intervalles. L'appareil qui commencerait à obéir à un courant très faible continuerait d'obéir tant que l'intensité ne serait pas retombée au-dessous de cette valeur très faible. Il fournirait donc, eu égard à la forme qu'affecte l'onde électrique à l'extrémité du câble, un signal prolongé plus long que celui qui donnerait sous la même onde un appareil moins sensible, et le temps qu'on gagnerait à la formation du signal serait perdu par l'impossibilité de réduire ce signal à la durée strictement nécessaire.

Pour résoudre cette difficulté, on forme chaque signal, non plus d'une émission unique, comme dans les transmissions télégraphiques ordinaires, mais d'une série d'émissions successives ayant chacune un sens

et une intensité convenablement choisis. Les effets dus à chacune de ces émissions se superposent, et on a ainsi le moyen de réduire la durée du courant d'arrivée et de faire tomber à zéro l'intensité de ce courant aussitôt que le signal a été recueilli. On peut aussi, grâce à cet artifice, conserver l'avantage de l'appareil sensible et faire disparaître son inconvénient, puisque les courants compensateurs éteignent la queue de courant qui prolongerait le signal (2).

La sensibilité des appareils actuellement employés (miroir et siphon recorder de sir W. Thomson) est très grande. Ainsi, en désignant par CR le produit de la CAPACITÉ de la ligne par sa RÉSISTANCE, le temps nécessaire pour qu'un signal apparaisse ou, en d'autres termes, le temps nécessaire pour que le courant atteigne l'intensité voulue, est :

Pour le Morse	$\frac{414}{109}$	CR secondes.
Pour le Hughes	$\frac{165}{109}$	CR —
Pour le miroir et le siphon recorder	$\frac{47}{109}$	CR —

La vitesse de transmission de ces derniers appareils est également très grande; ainsi, sur le câble



Fig. 1.

Jay-Gould, de Penzance à Ganso, qui a une résistance de 8.320 ohms et une capacité de 830 MICROFARADS, la transmission atteinte normalement est de 18 mots de 5 lettres par minute, ce qui, à la moyenne de 4 signaux par lettre, donne pour durée d'un signal et de l'intervalle qui le sépare du signal suivant 1/6 de seconde.

La transmission des signaux sur les longs câbles étant souvent troublée par des courants naturels d'origine imparfaitement connue, M. Varley a imaginé, pour combattre l'effet nuisible de ces courants, d'intercaler sur le parcours des fils de ligne des CONDENSATEURS dont les deux armatures sont reliées à chacun des côtés du conducteur.

On peut placer soit un condensateur à l'une des extrémités du câble, soit un condensateur à chacune des deux extrémités.

Dans le premier cas, quand on manipule, on met la pile en relation avec l'une des armatures du condensateur; cette armature se charge, l'autre armature s'électrise en sens contraire, et il se produit, en conséquence, dans le fil de ligne un mouvement électrique, et par suite un courant dans le récepteur.

Dans le second cas, c'est-à-dire lorsqu'on dispose

un condensateur à chaque bout du câble, l'armature du condensateur placé au poste récepteur reçoit le fluide électrique du conducteur, son autre armature se charge et produit un courant dans l'appareil récepteur. Dans ces conditions les courants continus développés dans la ligne par le MAGNÉTISME TERRESTRE ne peuvent apporter de perturbations que dans le cas où leur intensité varie brusquement, ce qui est rare.

Voici la description du système de transmission avec condensateur à chaque extrémité du câble, d'après M. Amiot, ingénieur des Télégraphes (*Conférences sur la télégraphie électrique à l'École des ponts et chaussées*):

« Chacune des extrémités du câble aboutit à l'une des faces *b* d'un condensateur *ab* (fig. 1) dont la capacité est en rapport avec celle de la ligne qu'on veut desservir (pour la ligne de Brest à Saint-Pierre — v. la carte donnée au mot CÂBLE — le condensateur a une capacité égale à celle de 130 kilomètres de câble); l'autre face *a* du condensateur est mise en communication par un COMMUTATEUR soit avec le récepteur lorsqu'on reçoit, soit avec le manipulateur lorsqu'on transmet.

(1) M. Adr a eu l'idée d'employer le téléphone comme récepteur. (V. MUOSO-SIGUAL.)

(2) Les effets de condensation et de ralentissement dans la transmission des signaux que nous venons de signaler dans les lignes sous-marines se produisent dans les lignes souterraines.

Pour celles-ci on avait cherché à remédier à ces inconvénients en fractionnant les lignes en sections de pu

de longueur et en plaçant en des points intermédiaires des appareils de translation; mais on y a renoncé, à cause de la multiplicité d'appareils accessoires dont il fallait se servir, et on a préféré employer le même moyen que pour la transmission sur les lignes sous-marines. On a modifié les appareils ordinaires (Huges, Wheatstone), de façon qu'ils émettent une série de courants de sens, d'intensité, et de durée convenablement choisis.

« Le manipulateur consiste généralement en deux languettes métalliques élastiques *a*' et *b*' (fig. 2) fixées sur le socle par leur partie postérieure et qui, au repos, appuient, en vertu de leur élasticité, sur une lame métallique supérieure, reliée au pôle négatif de la pile; lorsqu'on appuie sur la partie antérieure de l'une d'elles, on l'amène au contact d'une seconde lame *a*" reliée au pôle positif: la lame *b*" communique d'ailleurs avec le condensateur et la lame *a*" avec la terre. Il en résulte que l'abaissement de la lame *b*" a pour effet d'envoyer un courant positif et celui de la lame *a*" un courant négatif dans le condensateur.

« Si au poste A (fig. 4) on abaisse la clef positive *s*", on envoie sur la face *a* du condensateur de ce poste

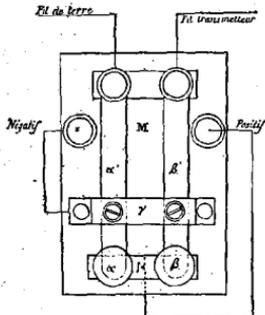


Fig. 2. — Manipulateur. (Vue en plan.)

une charge positive qui agit par influence sur l'état électrique du câble: la face *b* du condensateur de A prend une charge négative et la face *b*' du condensateur de B une charge positive; celle-ci réagit à son tour sur la face *a*' et y détermine un afflux d'électricité négative venant de la terre par le récepteur B, où il produit le même effet qu'un courant positif venant du câble, c'est-à-dire de A.

« On verrait de même qu'en abaissant en A la clef négative *a*" l'effet produit sur le récepteur de B serait celui d'un courant négatif venant de A.

« Au lieu de laisser le câble à l'état neutre, on lui donne ordinairement une charge négative permanente au moyen de quelques couples Daniell: les condensateurs fonctionnent alors en raison des différences de charge qu'y déterminent les émissions de courant produites au départ.

« Les courants envoyés dans le condensateur du poste de départ se reproduisent, comme nous l'avons indiqué, dans le récepteur de l'arrivée, mais avec une intensité très réduite, qui n'est guère que la millième partie de celle du courant émis.

« Comme, d'ailleurs, on n'emploie que de faibles piles pour ces transmissions, il en résulte qu'il faut des appareils extrêmement sensibles pour accuser le passage des courants qui circulent dans le récepteur.

« Les récepteurs employés pour l'exploitation des longs câbles sous-marins sont généralement de deux sortes: le miroir, qui donne des signaux fugitifs, et le siphon recorder, qui écrit les caractères en signaux conventionnels. »

Appareil à miroir de Thomson. — Le récepteur à miroir consiste, comme son nom l'indique, en un

petit miroir sur la face étamée duquel on a collé un très petit aimant *a* (fig. 3); l'ensemble, qui ne pèse pas 2 décigrammes, est suspendu par un fil de cocon au centre d'un cadre galvanométrique G (fig. 4, page suivante) relié d'une part à la face du condensateur, et d'autre part à la terre; il est placé sous l'influence d'un AIMANT PUISSANT E qui lui donne une inertie suffisante: le miroir reçoit d'une lampe un rayon lumineux qu'il réfléchit sur un écran H situé à une certaine distance, où il produit une image lumineuse R appelée spot. (La fig. 4 donne la vue d'ensemble de la table et des appareils de la



Fig. 3.

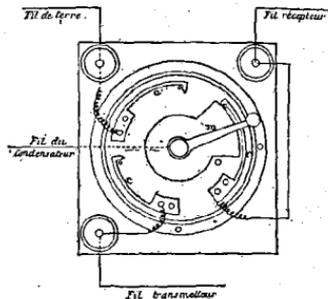


Fig. 5. — Commutateur. (Vue en plan.)

Compagnie du câble transatlantique français à Brest. Les fig. 5 et 6 donnent la vue à plus grande échelle du commutateur et du galvanomètre.)

Tout courant qui passe dans le cadre galvanométrique

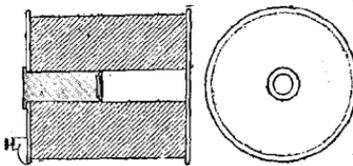


Fig. 6. — Galvanomètre.

trique dévie le miroir par son aimant dans un sens ou dans l'autre, suivant que ce courant est positif ou négatif, et le spot se déplace sur l'écran d'un angle double de celui dont le miroir a été dévié.

La légèreté du système, la délicatesse de sa suspension et le doublement de son angle de déviation par le spot en font un appareil d'une extrême sensibilité, parfaitement approprié aux courants dont il doit accuser le passage dans la télégraphie sous-marine. Les caractères sont représentés par des combinaisons de déviations du spot dans un sens et dans l'autre; chaque clan de ce spot, qui constitue un des éléments du signal, peut être produit dans une position quelconque de l'image lumineuse, pourvu qu'elle ne sorte pas de l'écran, sans qu'il soit nécessaire de la faire revenir chaque fois à sa position initiale,

La lecture, qui oblige l'employé à suivre constamment des yeux le mouvement du spot, en devant les mots ou les caractères transmis, est pénible; de plus, les signaux reçus ne laissent aucune trace. Le **SIPHON RECORDER** de Thomson a pour but de remédier à ces deux inconvénients.

Siphon recorder. — Il se compose, en principe, de deux forts électro-aimants droits, dont les bobines sont parcourues par un courant local constant, de manière à développer deux pôles contraires aux extrémités en regard, et d'un cadre entouré de fil fin et suspendu entre les deux pôles des électro-aimants. Au centre

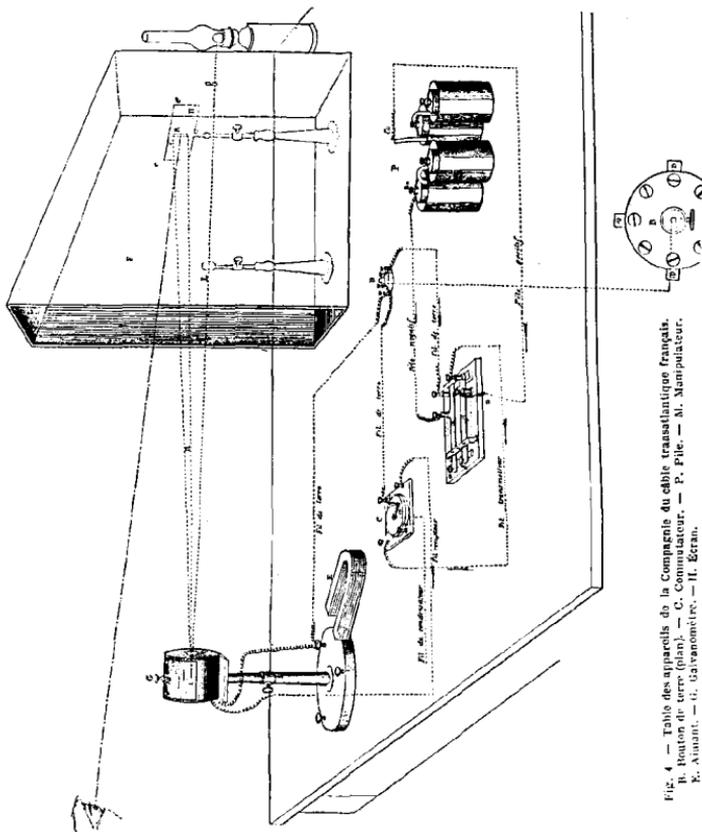


Fig. 4 — Table des appareils de la Compagnie des câbles télégraphiques français.
B. Receptor. — C. Condensateur. — P. Pen. — M. Manipulateur.
R. Rotant. — D. Galvanomètre. — H. Ecran.

du cadre se trouve une pièce de fer doux, qui ne nuit pas aux mouvements du cadre et dont l'effet est d'augmenter l'intensité du CHAMP MAGNÉTIQUE. Au cadre mobile est relié, par un fil de cocon, un siphon capillaire en verre dont l'extrémité supérieure plonge dans un vase contenant une dissolution d'aniline bleue et dont l'autre extrémité se meut près d'une bande de papier qui se déroule d'un mouvement uniforme. Le siphon suit les oscillations du cadre.

L'écoulement de l'encre à travers le tube capillaire s'obtient au moyen d'une petite MACHINE ÉLECTRIQUE. La branche inférieure du siphon appuie sur la bande de papier et y laisse la trace à l'encre de ses mouvements. (V. la description détaillée de l'appareil au mot **SIPHON RECORDER**.)

Appareil de transmission de M. Maiche. — M. Maiche a imaginé, en 1883, un appareil de trans-

mission destiné à faire disparaître le principal inconvénient que présentent actuellement les systèmes télégraphiques sous-marins.

Par suite de la CAPACITÉ ÉLECTRO-STATIQUE des CABLES, les signaux donnés par le siphon recorder ne sont pas aussi lisibles qu'on pourrait le désirer. Supposons, en effet, l'envoi d'une lettre formée par quatre émissions successives d'un courant de même sens, il par exemple. La première émission fera dévier le si-

phon d'une certaine quantité, la deuxième un peu plus et ainsi de suite; mais dans l'intervalle de deux émissions l'extrémité du siphon ne revient pas à la ligne médiane, considérée comme le zéro de l'appareil. Il en résulte qu'un courant de sens contraire, au lieu de faire passer le siphon de l'autre côté du zéro, ne suffit même pas toujours pour l'y ramener, ce qui rend difficile l'interprétation des signaux. M. Varley avait déjà essayé de remédier à cet inconvénient; puis

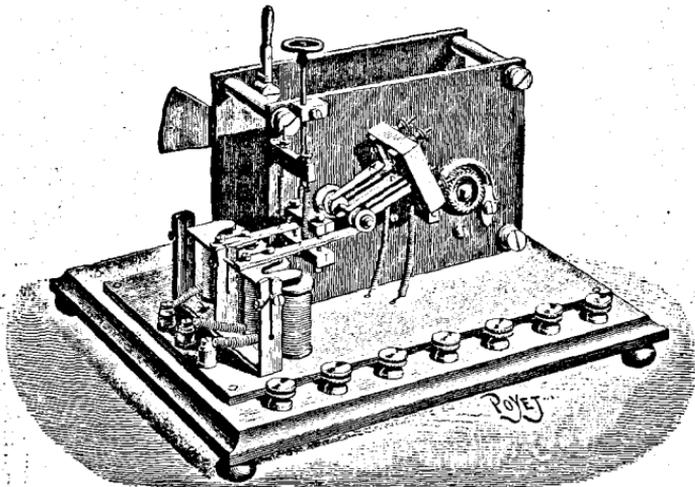


Fig. 7. — Manipulateur automatique de M. Maiche.

MM. Thomson et Jenkin imaginèrent dans le même but un appareil qui a été décrit dans le *Journal de la Société des Télégraphes*. Enfin M. Maiche a proposé d'intercaler entre le MANIPULATEUR ordinaire

et le câble un manipulateur automatique de son invention.

Cet appareil (fig. 7) se compose essentiellement d'un mouvement d'horlogerie dont la vitesse et déroulement

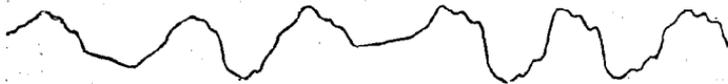


Fig. 8.



Fig. 9.

est parfaitement réglée; l'axe du dernier mobile porte deux excentriques métalliques disposés sur l'axe à frottement doux. Un déclenchement électrique composé d'un ÉLECTRO-AIMANT et d'une ARMATURE à levier correspond à chaque excentrique et permet de l'arrêter ou de le laisser tourner. Chacun des électros est relié à l'une des lames d'un manipulateur inverseur ordinaire.

Chaque émission de courant venant du manipulateur détermine le déclenchement de l'un ou de l'autre

des excentriques, lesquels correspondent respectivement au passage à droite ou au passage à gauche du siphon recorder, c'est-à-dire aux signaux qui représentent les traits et les points de l'alphabet Morse.

On obtient ainsi, soit dans un sens, soit dans l'autre, des émissions de courant qui ont toujours la même durée.

Au-dessus et au-dessous de chaque excentrique se trouvent deux lames de ressort communiquant chacune avec l'un des pôles de la pile; il en résulte que, à

chaque tour de l'excentrique, deux courants de sens inverses sont envoyés sur la ligne : le premier est le courant de transmission; l'autre, le courant de neutralisation de la charge : celui-ci est toujours d'une durée un peu moindre que le premier.

Le système des quatre ressorts de contact est réglable soit isolément, pour chaque lame, soit, pour l'ensemble, au moyen d'une vis micrométrique permettant le réglage même en marche. Les signaux transmis sont reçus avec une régularité qui se rapproche beaucoup de celle que l'on peut obtenir ex local, et la lecture en devient aussi peu pénible que celle d'une bande Morse ordinaire.

D'après M. Maiche, ce manipulateur automatique a été longuement expérimenté sur les câbles de la Commercial Cable Company, entre le Havre, Water-ville et New-York, et son usage aurait permis de transmettre, soit en simplex, soit en duplex, avec une vitesse double de celle qu'on atteint sans son secours. La fig. 7 représente la vue perspective de l'appareil et en fait suffisamment comprendre les dispositions. Nous donnons également (fig. 8) le fac-similé en vraie grandeur d'un fragment de bande portant les signaux obtenus avec le siphon recorder seul, et (fig. 9) un fragment obtenu avec l'appareil Maiche.

Enregistreur système Ebel. — M. Ebel a construit un enregistreur pour câble sous-marin qui est une application du principe de son relais avec em-

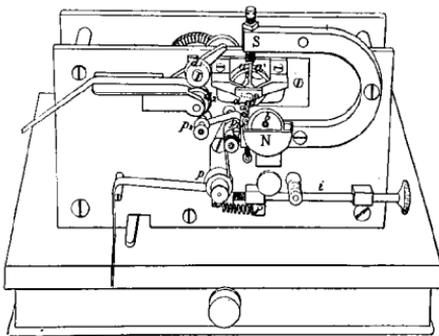


Fig. 10. — Enregistreur, système Ebel.

ploi des signaux Morse produits par le courant; en voici la description, donnée par les *Annales industrielles*, en 1885 :

« L'appareil est représenté fig. 10. On voit que la bande de papier est disposée pour se dérouler d'un tiroir placé sous la table de l'appareil. De là elle passe sur les galets directeurs p, p_1, p_2 , puis sur des galets de frottement d_1 et d_2 qui l'enroulent. Le même mécanisme d'horlogerie fait tourner dans un réservoir d'encre un disque b disposé de manière à distribuer constamment l'encre à un disque auxiliaire e . Ce dernier est fixé au bras a relié à l'axe de l'armature composée aa' mise en rapport elle-même avec les pôles d'un électro-aimant et d'un aimant permanent. Le mécanisme électrique de l'enregistreur fonctionne identiquement comme celui du relais : dans ce dernier, le bras d vient en contact avec l'arrêt en fermant ou en interrompant le circuit local, tandis

que dans l'enregistreur il met en contact avec la bande de papier le galet e , qui peut alors y inscrire

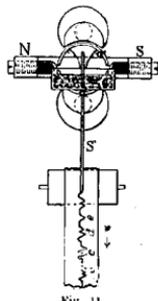


Fig. 11.

des signaux. Le galet directeur p peut être ajusté au moyen de la vis de réglage r .

« Cet enregistreur fonctionne toujours avec autant de succès que le relais et offre même, on peut le dire, plus d'avantages que lui. Son emploi dans les postes de câbles permettant de réduire le nombre des appareils nécessaires rend, par suite, moins délicate et moins minutieuse l'opération du montage de ces appareils et diminue les frais d'entretien. Grâce à la légèreté de ses diverses pièces, il peut être spécialement employé pour obtenir une grande vitesse sur les circuits ordinaires.

« L'enregistreur modifié légèrement se prête à l'enregistrement des signaux du galvanomètre à miroir. La fig. 11 indique la disposition qu'il faut, dans ce cas, donner à l'appareil.

« Les armatures aa' sont dans une position verticale : S' est un siphon en verre fin suspendu à un fil et placé de manière à venir tremper dans l'encrier w . Le siphon est relié à l'armature composée aa' , au moyen du bras d . Grâce à cette disposition, l'encre circule sans cesse dans le siphon et sort, à la partie inférieure, sur la bande de papier qui se déroule, dans la mesure

de la force d'un mécanisme. On produit ainsi un léger trait continu à l'encre tant qu'il n'y a pas de courant, mais aussitôt que l'électro-aimant s'influence au passage du courant et que l'armature aa' pivote, le siphon se met de même en mouvement par l'action du bras d et trace sur le papier des lignes en zigzag allant alternativement à droite et à gauche. »

Récepteurs électro-photographiques. — En faisant dérouler à une certaine distance du miroir de l'appareil de Thomson une bande de papier sensible, l'image lumineuse produit une trace que l'on peut développer après coup à l'aide de réactifs appropriés. Tel est le principe de l'appareil Chamberlain, qui se compose essentiellement d'un aimant mobile à l'intérieur d'une bobine et actionné par un électro-aimant. En se déplaçant, cet aimant, muni d'une tige d'aluminium chargée à son extrémité, de-

couvre une ouverture donnant passage à un faisceau lumineux.

Ce faisceau tombe sur une lentille qui concentre l'image sur un papier sensible. A chaque déplacement de l'aimant correspond donc un signal.

Récepteurs radiophoniques. — M. Maiche a construit un appareil dans lequel la lumière réfléchi par le miroir du galvanomètre Thomson tombe, quand le courant passe, sur les ailettes d'un *radiométr*. Ce radiomètre est ainsi animé d'un léger mouvement de rotation. On peut donc l'utiliser pour fermer le circuit d'une PILE LOCALE, et il suffit d'intercaler dans ce circuit un récepteur, qui entre alors en action.

Récepteur Hughes modifié par M. Ailhaud. — M. Ailhaud et ensuite M. Mandroux se sont proposé de modifier le récepteur Hughes de façon à obtenir la décharge à peu près complète du conducteur après chaque émission de courant. Les essais faits à partir de 1877 entre Marseille et Alger ont donné de bons résultats.

Vitesse des transmissions télégraphiques sous-marines. — Le fait suivant donne une idée de la rapidité des transmissions télégraphiques sous-marines. Lors de l'ouverture de l'Exposition de Melbourne (Australie), en 1888, un télégramme de 117 mots était adressé à la reine Victoria, à Londres, et le temps pris par la transmission était de trente-huit minutes. La réponse, de 13 mots, parvenait à Melbourne en seize minutes. La distance parcourue est de 22.500 kilomètres.

A ce propos il est intéressant de faire remarquer que la flotte de navires-câbles de l'Angleterre compte actuellement 38 navires d'un tonnage de 60.000 tonnes, dont l'entretien revient annuellement à 7.500.000 francs.

TÉLÉGRAPHIER. — Transmetteur par télégraphe.

TÉLÉGRAPHIQUE. — Qui a rapport au télégraphe ou à la télégraphie. — Expédié par télégraphe.

TÉLÉGRAPHISTE. — Employé chargé de la manœuvre d'un appareil télégraphique.

TÉLÉKAL. — Nom donné par le colonel W. Jacobi à un appareil téléphonique servant à transmettre à des distances considérables des *phonogrammes* ou *télégrammes phonétiques*, au moyen de signes phonétiques correspondant aux signes du vocabulaire Morse : point et barre. Un coup de court durée frappé par le transmetteur produit dans le *TELEPHONE* récepteur un son bref qui correspond au signal : point ; un coup prolongé frappé par le transmetteur produit dans le téléphone un son prolongé qui correspond au signal : barre. En manœuvrant le transmetteur, on peut produire aussi dans le poste récepteur des coups de sonnerie qui servent à indiquer le commencement et la fin de la transmission. En résumé, le système consiste à employer dans chaque poste une sorte de manipulateur du genre Morse et un téléphone récepteur ; on se sert d'un seul fil de ligne.

Le colonel Jacobi a proposé d'employer le télékal comme télégraphie militaire portatif. L'instrument peut servir aussi d'appareil contrôleur pour vérifier l'état de CONDUCTIBILITÉ des lignes télégraphiques, pour déterminer la continuité des conducteurs et la distance approximative des endroits où il se

scrait produit une rupture : il peut remplacer le GALVANOSCOPE. Enfin, le télékal peut faciliter la transmission des phonogrammes chiffrés, c'est-à-dire des dépêches secrètes. Son principal avantage est de fonctionner sans pile et à des distances considérables.

TÉLÉMARÉOGRAPHE. — Instrument destiné à déterminer à distance la courbe des mouvements de la marée en un lieu déterminé.

Télémaréographe de M. E. Gimé. — Cet instrument se compose d'un transmetteur et d'un enregistreur. Le premier de ces organes comprend un long tube de verre fermé à l'une de ses extrémités et communiquant par l'autre avec un récipient plein de mercure. Le vide barométrique existe dans ce tube et le niveau du récipient ouvert coïncide avec celui de la basse mer.

Dans le tube barométrique sont soudés de millimètre en millimètre, suivant une génératrice, des fils faisant saillie à l'intérieur et établissant ainsi des contacts avec le mercure ; ils sont reliés aux divisions d'un *anémostat* placé dans un compartiment étanche. L'extrémité supérieure de ce rhéostat est relié à la ligne qui aboutit à l'enregistreur, tandis que son extrémité inférieure communique avec une plaque de cuivre immergée dans la mer. L'enregistreur est constitué par un *solénoïde* agissant sur un noyau de fer doux suspendu au fléau d'une balance. Le bras opposé de ce fléau porte un contrepoids curseur et un style s'appliquant contre un tambour recouvert d'un papier où s'inscrit la courbe maréométrique. Le solénoïde communique avec le pôle d'une pile dont l'autre pôle est relié à la terre.

Quand le niveau de l'eau s'élève, la pression sur le mercure du récipient augmente, la colonne de mercure monte dans le tube et la somme des résistances du rhéostat diminue ; il en résulte que le courant de la pile qui parcourt le circuit varie d'intensité et que, par suite, l'attraction du solénoïde sur son noyau varie également, ce qui amène le déplacement du style. Un même appareil enregistreur peut suffire à divers postes enregistreurs.

TÉLÉMÉTÉOROGAPHE. — Appareil destiné à transmettre télégraphiquement et d'une manière permanente les observations météorologiques. (V. ENREGISTREURS MÉTÉOROLOGIQUES.)

TÉLÉMÈTRE (du grec *télé*, loin ; *metron*, mesure). — Appareil servant à déterminer rapidement la distance d'un navire à la terre, ou la distance entre les positions d'un navire à deux instants déterminés. L'usage de cet instrument nécessite un simple levé à la planchette sur une ligne de base de longueur connue avec deux postes d'observation, et l'électricité n'y intervient que pour arrêter à l'un des postes la transmission du mouvement de l'alidade de l'autre et la connaissance immédiate du point d'intersection des deux lignes de visée.

Les téléètres exposés à Paris en 1881 étaient ceux de MM. Siemens et Halske, de Berlin, et de M. Le Goarant de Troellin, lieutenant de vaisseau de la marine française.

Les téléètres montrent un nouvel exemple de la transmission à distance d'une série de rotations dans les deux sens, problème résolu dans des conditions un peu différentes dans les indicateurs de niveau d'eau et dans les indicateurs ou enregistreurs météorologiques. (Rapport du Jury de l'Exposition de 1881.)

TÉLÉMICROPHONE. — Nom donné par M. Mercadier à un appareil mixte produisant simultanément les effets du microphone et du téléphone, et réversible comme ce dernier.

Suivant M. Mercadier, la construction des télémicrophones repose sur les faits suivants : on peut agir sur un téléphone ou un microphone par l'intermédiaire d'une lame mince rigide quelconque et d'une couche d'air, limitée ou non; on peut, sans faire perdre à un diaphragme magnétique ses propriétés téléphoniques, le charger de poids jusqu'à une certaine limite, qui peut même dépasser le poids du diaphragme; les effets d'un microphone placé dans le circuit primaire d'une bobine d'induction et d'un téléphone placé dans le circuit secondaire se superposent quand on agit simultanément sur les deux appareils, soit qu'on les juxtapose, soit qu'on les superpose, soit qu'on les combine intimement, le microphone étant fixé à la membrane même du téléphone. Enfin quand la membrane d'un téléphone quelconque sépare deux chambres à air, l'une extérieure, l'autre intérieure à l'instrument, on peut recevoir nettement et fortement les mouvements de la membrane transmis à l'air, à l'aide d'un ou plusieurs tubes acoustiques adaptés latéralement à ces chambres, pourvu qu'on donne à celles-ci des dimensions convenables.

M. Mercadier a fait construire, en 1885, deux types de télémicrophones : l'un dans lequel les organes téléphonique et microphonique sont superposés, l'autre où ils sont combinés. Ces appareils ont donné de bons résultats. Les principaux avantages des télémicrophones sur les microphones ordinaires sont : la possibilité d'un double mode de transmission avec le même appareil; la réversibilité du transmetteur, qui simplifie beaucoup la réception; la réduction du nombre des organes des postes microphoniques et, par suite, la diminution de la résistance totale des appareils d'une même ligne : cette réduction permet enfin de simplifier la construction des appareils et d'en diminuer notablement le volume.

TÉLÉPHONE (du grec *télé*, loin; *phônè*, voix). — Instrument apte à transmettre les sons à distance. L'idée de cette transmission est aussi ancienne que le monde. Mais on n'était pas parvenu à communiquer au delà de certaines limites assez restreintes jusqu'en 1876, époque à laquelle Graham Bell imagina l'appareil appelé *téléphone*, qui permit de transmettre électriquement la parole à une grande distance.

Historique. — Les premières applications de l'électricité à la téléphonie avaient été entrevues dès l'année 1834 par M. Charles Bourseul, qui publia à cette époque une note dans laquelle il était dit qu'on obtiendrait de l'électricité la solution de la téléphonie à grande distance, en faisant usage d'appareils relativement simples. Bourseul annonça qu'il avait commencé des expériences à cet égard, qu'elles étaient délicates, qu'elles exigeaient du temps et de la patience, mais que les approximations obtenues faisaient entrevoir un résultat favorable.

En 1860, M. Reiss réussit à transmettre à distance des sons musicaux au moyen d'un conducteur métallique. Le téléphone de Reiss, qui a été le point de départ de tous les autres, est fondé, quant à la reproduction des sons, sur les effets découverts par Page en 1837, et, pour leur transmission électrique, sur le système à membrane vibrante, utilisé dès l'année 1855 par M. L. Sestl.

Voici une description succincte du téléphone de Reiss : au départ, les vibrations de l'air étaient recueillies par une membrane; les déplacements du

centre de cette membrane produisaient des interruptions dans un circuit comprenant une pile, la ligne et l'organe récepteur, placé à l'autre extrémité. A l'arrivée, les interruptions étaient rendues perceptibles à l'oreille par l'effet de dispositifs électro-magnétiques. Le transmetteur se composait d'une bobine munie sur l'une de ses faces d'une embouchure, et sur une autre, d'une membrane en baudruche posant au centre un contact métallique pouvant frapper contre un buttoir, également métallique, placé en regard et réglable au moyen d'une vis. Le récepteur était formé d'un fil de fer ou d'acier légèrement tendu, placé suivant l'axe d'une noisette et libre de vibrer sous l'influence des passages du courant.

Le téléphone de Reiss, qui transmettait les sons avec leur valeur relative, *mais non la parole*, fut successivement perfectionné par M. Yeates, par M. Van der Weyde, par MM. Cécil et Léonard Wray.

En 1874, M. Elisha Gray, de Chicago, imagina un téléphone qui a pu être utilement appliqué à la télégraphie, et dont voici le principe : au poste de départ se trouvaient des bobines d'induction à deux hélices superposées, dont les interrupteurs, qui étaient à trembleur, étaient multiples et disposés de façon à produire des vibrations assez nombreuses pour émettre des sons de hauteur différente, suivant la manière dont l'appareil était réglé. On comprend donc qu'il était possible, en employant plusieurs interrupteurs de ce genre, d'exécuter un morceau de musique. Au poste d'arrivée se trouvait un simple électro-aimant au-dessus des pôles duquel était adaptée une caisse cylindrique dont le fond, en fer, servait d'armature. La caisse était percée de deux trous en S, afin de lui donner une plus grande sonorité.

Il est évident qu'on peut remplacer, à la station de départ, les interrupteurs électriques par des interrupteurs mécaniques fournissant le nombre d'interruptions de courant nécessaires pour produire les vibrations des différentes notes de la gamme. C'est sur ce principe qu'est basé le système de transmissions électriques simultanées, ou *télégraphe harmonique de Gray*. (V. *TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE*.)

Enfin, nous rappellerons qu'en 1865 M. Wright imagina de substituer au récepteur de Reiss un condensateur d'Épinoix, et obtint, en le plaçant dans certaines conditions de charge, la reproduction de mélodies musicales. Cette idée fut reprise plus tard par MM. Dollard et Garnier. (V. *CONDENSATEUR CHANTANT*.)

Les divers téléphones dont il vient d'être question ne peuvent transmettre que des sons musicaux. Il ne fallait y ajouter que peu de chose pour obtenir la transmission des sons articulés; mais ce résultat n'a été obtenu qu'en 1876, à la suite des travaux de MM. Graham Bell, Elisha Gray, Edison, etc.

Le même jour, 14 février 1876, G. B. Bell, de Boston, et Elisha Gray, de Chicago, présentèrent à l'office des brevets des demandes de brevets renfermant un résumé de leurs travaux sur la téléphonie.

Dans le courant de la même année, à l'Exposition de Philadelphie, M. Bell exposa un premier modèle de téléphone articulatif, qui laissa à désirer; l'année suivante, il fit connaître la forme définitive du téléphone, forme qui a peu varié depuis.

TÉLÉPHONE BELL.

La *fig. 1* représente cet appareil, qui se compose d'une boîte circulaire en bois, portée à l'extrémité d'un manche M, également en bois et renfermant dans son intérieur un barreau aimanté NS. On peut, à l'aide d'une vis, faire avancer ou reculer ce barreau, suivant qu'on la tourne dans un sens ou

dans l'autre, de façon à pouvoir régler l'instrument. Le barreau porte à son extrémité une bobine magnétique B, dont les bouts du fil aboutissent à deux tiges de cuivre *f, f* qui traversent le manche et viennent se relier à deux boutons d'attache I, I', où sont fixés les fils C, C du circuit. Ordinairement, ces deux

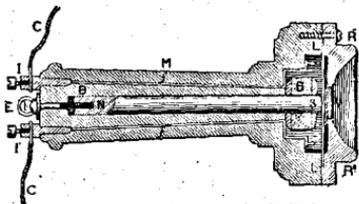


Fig. 1. — Téléphone Bell. (Coupe longitudinale.)

fils sont réunis en torsade et traversent un petit capuchon en bois vissé sur le bout du manche; ils viennent s'attacher directement aux tiges *f, f*, de sorte qu'on n'est pas gêné pour le maniement. En face

de l'extrémité poaire du barreau aimanté est placée la lame vibrante LL en fer très mince et recouverte soit de vernis, soit d'étain. Cette lame, qui a la forme d'un disque, appuie par ses bords sur une bague en caoutchouc, et elle est fortement fixée sur le pourtour de la boîte en bois par l'embouchure RR', qui est maintenue au moyen de quelques vis. Cette embouchure, par laquelle on parle, a la forme d'un entonnoir évasé, et porte en son milieu un trou V. La lame vibrante doit être très rapprochée du barreau aimanté, sans qu'elle puisse cependant le toucher sous l'influence des vibrations de la voix. D'un autre côté, il doit exister un certain vide entre la lame et les Leds du trou V, et l'intérieur de la boîte doit être bien sonore. Pour se servir du téléphone, il suffit de parler nettement dans l'embouchure de l'instrument que l'on tient à la main pendant que l'auditeur, placé à la station correspondante, tient appliquée contre son oreille l'embouchure du téléphone récepteur. Le téléphone peut se faire entendre simultanément à plusieurs auditeurs; il suffit de relier la ligne à plusieurs récepteurs.

M. Maiche a apporté une modification au téléphone Bell dans le but de le rendre indé réglable. Les fig. 2 et 3 représentent la vue extérieure et intérieure de ce téléphone. La cuvette servant à la

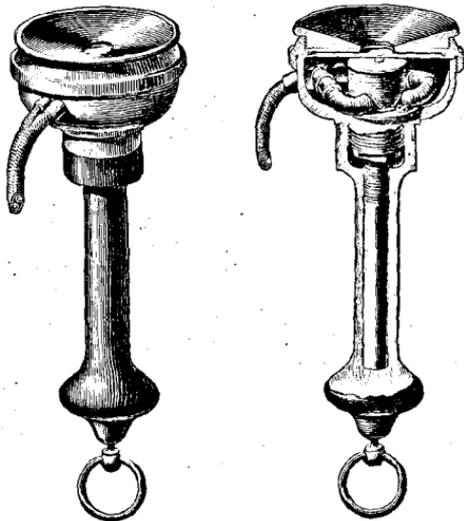


Fig. 2 et 3. — Téléphone Maiche. (Vue extérieure et coupe longitudinale.)

fois de support à la membrane vibrante et de logement pour l'extrémité de l'aimant et de sa bobine est entièrement métallique; un flet de vis pratiqué sur l'aimant permet de l'approcher ou de l'éloigner de la membrane, en réglant la distance par quantités aussi petites que l'on veut. Le réglage une fois obtenu, un contre-écrou placé sur le flet de vis de l'aimant sert à fixer ce dernier d'une façon définitive dans le fond de la cuvette.

Théorie du téléphone. — Cette théorie n'est pas encore faite, bien que de nombreux savants se soient occupés d'en réunir les matériaux. Dans le téléphone Bell décrit ci-dessus, les ondes sonores frappent contre le diaphragme du téléphone lorsqu'on parle devant lui, ce diaphragme se met à vibrer mécaniquement, ces vibrations changent l'état magnétique du récepteur et produisent ainsi des courants électriques dans le circuit. Ces courants déterminent

à leur tour dans l'état magnétique du téléphone récepteur des changements qui font vibrer le diaphragme de ce dernier, et il se produit finalement des ondes sonores qui frappent l'oreille de celui qui écoute.

D'après M. Bell, le courant circulant dans une ligne téléphonique est *ondulatoire* sans aucune interruption, mais traversant le point du POTENTIEL égal à zéro. Les ondes électriques, comme les ondes acoustiques, peuvent se représenter graphiquement par une courbe sinusoïdale. M. Bell admet que les ondes complexes produisent dans le diaphragme du transmetteur des vibrations de même forme qui se réfléchent une troisième fois dans les ondulations du courant électrique et une quatrième fois dans la membrane du téléphone récepteur, sans s'occuper des détails d'imperfection et d'affaiblissement que montrent ces reproductions.

En tous cas, les courants transmis de téléphone à téléphone sont extrêmement faibles. MM. Cross et Page ont cherché à déterminer la force des courants électriques développés dans le circuit téléphonique quand on parle contre la membrane d'un téléphone (*The Telegraphic Journal and Electrical Review*, t. XVII, page 412); ils ont trouvé que la force moyenne de ces courants varie de 0,79 à 0,07 MILLIAMPÈRE.

M. Cross, de Philadelphie, a relevé les valeurs suivantes du courant dans un téléphone Bell, l'intensité variant suivant la voyelle prononcée :

a.....	0,000260 ampère.
i.....	0,00123 —
u.....	0,00103 —

M. Wieltisch évalue aussi à 0,0001 ampère le courant maximum dans les téléphones Siemens.

On a cherché à étudier les mouvements de la membrane du transmetteur et du récepteur; ils sont si faibles que leur nature est restée longtemps inconnue. Certains savants prétendaient qu'ils étaient moléculaires, d'autres qu'ils étaient vibratoires. — Une controverse se produisit à ce sujet entre le comte Du Moncel et M. Navet en 1878 (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique. — Journal télégraphique de Berne*, année 1878). Du Moncel soutenait que les vibrations étaient moléculaires et s'appuyait sur des expériences qui semblaient confirmer son assertion. Il est vrai que ses contradicteurs mettaient en avant d'autres expériences qui tendaient à leur donner raison. La place nous manque ici pour résumer cette discussion, intéressante à lire.

M. Ader a construit ensuite des téléphones sans diaphragme, ce qui a contribué à éclaircir différents points obscurs de la théorie du téléphone. On a constaté ainsi que, quoique le diaphragme joue le rôle prépondérant parmi les corps en mouvement, d'autres corps y participent aussi et que dans un téléphone transmetteur ou récepteur tout est en mouvement.

Des expériences plus récentes ont prouvé que les mouvements utiles du diaphragme sont de nature vibratoires, mais qu'à côté de ces mouvements vibratoires il existe des mouvements moléculaires qui ne contribuent probablement pas à rendre plus forte et plus nette la parole reproduite.

M. E. Mercadier a longuement étudié les effets qui se produisent dans les membranes du téléphone, en laissant de côté les phénomènes intermédiaires de la reproduction de la parole.

Les diaphragmes en fer ou en acier, minces et élastiques, ont, comme toutes les plaques, lames ou tiges élastiques, des vibrations qui leur sont propres dont la vitesse est déterminée.

Pour les lames, le nombre n de vibrations complètes par seconde peut être calculé par la formule

$$n = \frac{Kv}{L},$$

dans laquelle v représente l'épaisseur de la lame, L sa longueur exprimée en millimètres et K un coefficient qui est égal à 332013 pour le fer et l'acier. Le nombre des vibrations observées diffère fort peu de celui trouvé par le calcul. Pour les disques élastiques circulaires la formule à appliquer est

$$n = \frac{Kv}{d^2},$$

dans laquelle K' est un coefficient fonction

du coefficient d'élasticité et de la densité du disque, et d le diamètre de ce disque. M. Mercadier déterminait les vibrations électriquement et les enregistrait par un chronoscope, comme celles des diaphragmes. Il a constaté que le diaphragme magnétique du téléphone est animé de deux espèces de mouvements différents qui se superposent, savoir : des mouvements de résonance, moléculaires, indépendants de la forme extérieure et qui permettent au diaphragme de transmettre et de reproduire tous les sons; des mouvements d'ensemble, transversaux, correspondant au son fondamental et aux harmoniques du diaphragme, et qui dépendent de son élasticité et de sa structure. Ces mouvements sont nuisibles au point de vue de la transmission nette de la musique et de la parole, car ils en altèrent le timbre.

Pour le démontrer expérimentalement, M. Mercadier place le diaphragme d'un téléphone quelconque dans les conditions les plus favorables pour qu'il puisse vibrer transversalement sans obstacle et de façon à laisser se produire facilement la division en lignes nodales correspondant à un son donné bien déterminé. Il y arrive en posant simplement le diaphragme aussi près que possible du pôle de l'électro-aimant sur un nombre de points suffisants d'une ligne nodale. Il fait ensuite passer dans la bobine de l'appareil une série de courants d'intensité très faible, de période graduellement décroissante, par exemple, provoquant de l'émission des sons musicaux devant un transmetteur téléphonique quelconque.

Dans ces conditions le téléphone récepteur ne vibre d'une façon appréciable que sous l'action de courants dont la période est égale à celle du son correspondant à la nodale sur laquelle repose le diaphragme. M. Mercadier donne à ce téléphone ainsi modifié le nom de *monotéléphone* ou de *résonateur électro-magnétique*. Si, au contraire, on fixe légèrement les bords ou plusieurs points du diaphragme, par exemple en y appuyant convenablement les doigts, on peut mettre obstacle aux vibrations transversales d'ensemble, et le monotéléphone redevient un *partéléphone*, c'est-à-dire possède la faculté de permettre l'audition de tous les sons avec une égale intensité, ainsi que la parole articulée, sans altération sensible du timbre.

Modifications apportées au téléphone Bell pour amplifier les sons.

— Examinons maintenant les principales modifications apportées par divers inventeurs au téléphone magnétique de Bell dans le but d'amplifier ou de renforcer les sons émis par cet instrument.

Ces modifications consistent : 1° à utiliser les deux pôles de l'aimant et à y appliquer plus d'une bobine; 2° à munir le téléphone de plusieurs membranes.

Principaux types de téléphones magnétiques.

Téléphone Phelps. — Le téléphone Bell a été modifié aux États-Unis par Phelps.

Le téléphone Phelps, à tabatière, se compose d'un aimant rectangulaire ajouté, sur les petits côtés du

quel étaient placés deux bobines de 40 ohms de résistance chacune, à noyau de fer doux correspondant chacun à un diaphragme suspendu sur de petits ressorts à boudin en laiton.

M. Phelps a ensuite imaginé une forme de téléphone plus heureuse que la précédente, à laquelle il a donné le nom de *crown telephone* (téléphone à couronne) : cet appareil se composait de six aimants circulaires dont les pôles de même nom étaient fixés à un noyau central de fer doux entouré d'une bobine de 90 ohms de résistance agissant sur un diaphragme de 75 millimètres de diamètre. Les pôles de nom contraire étant mis en communication avec le bord extérieur du diaphragme par six pièces de contact, celui-ci formait une armature aux six aimants. Le téléphone était pourvu d'un moyen de réglage permettant de lui donner le maximum de sensibilité.

Le *pony-crown*, téléphone Phelps qui est une forme de téléphone dérivée du précédent, mais plus simple, se compose d'une boîte en ébonite et d'un seul aimant de forme circulaire. Sur l'un des pôles de cet aimant est fixée la bobine qui agit sur le diaphragme.

Téléphone bipolaire d'Elisha Gray. — M. Elisha Gray a imaginé un téléphone à deux diaphragmes auquel il a donné le nom de *téléphone bipolaire* parce que les deux pôles de l'aimant agissent sur deux diaphragmes distincts. Un pavillon ou embouchure, qui se bifurque de manière à frapper directement le centre de chaque diaphragme, permet d'utiliser l'action des pôles sur chacun d'eux. Mais l'expérience a démontré que ces dispositions à double diaphragme, qui sont généralement coûteuses de construction, n'accroissent pas dans une proportion sensible les effets de renforcement des sons; aussi ont-elles été abandonnées.

Téléphone Siemens et Halske. — MM. Siemens et Halske, en Allemagne, ont combiné un téléphone dans lequel l'aimant avait la forme d'un fer à cheval de manière à utiliser l'action des deux pôles sur le diaphragme. Ce système était pourvu d'un moyen d'appel consistant en une anche pouvant imprimer au diaphragme des vibrations très fortes qui étaient reproduites au poste d'arrivée.

Ce téléphone, très puissant, a conduit M. Gower à l'idée du sien.

Téléphone Gower. — M. Gower a cherché à amplifier les sons du téléphone en augmentant le diamètre et l'épaisseur du diaphragme de manière que ses vibrations fassent varier plus énergiquement la position des pôles de l'aimant. Ce diaphragme est placé dans une boîte métallique sonore, destinée à renforcer les sons qu'il émet (fig. 4). L'aimant a une forme particulière; ses deux pôles se trouvent placés l'un vis à vis de l'autre et à très petite distance, comme dans le système d'électro-aimants de Faraday. L'aimant possède une force assez considérable pour porter 5 kilogrammes. L'avertisseur est constitué, du moins pour le poste de transmission, par une couverture pratiquée dans le diaphragme et derrière laquelle se trouve fixée une anche d'harmonium. Pour le faire fonctionner on adapte à l'embouchure de l'appareil un tube acoustique; quand on souffle dans ce tube, l'anche est mise en vibration, et cette vibration étant communiquée directement au diaphragme du téléphone, lui fait produire des courants induits assez énergiques pour fournir sur l'appareil récepteur un son relativement fort qui ressemble assez à l'appel des cors de tramways. Pour obtenir la transmission

de la parole, il suffit de parler devant l'embouchure du cornet acoustique, comme on le fait dans les

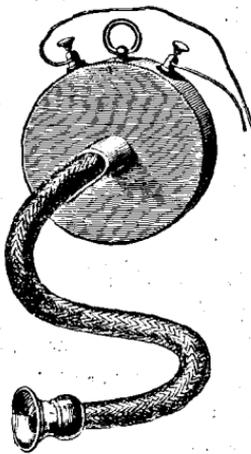


Fig. 4. — Téléphone Gower.

systems ordinaires. Malheureusement, la construction de l'appareil est assez délicate.

Téléphone Fein. — Le téléphone Fein utilise les deux pôles de l'aimant, comme celui de MM. Siemens et Halske; mais il se distingue de ce dernier en ce que les noyaux des bobines sont formés d'un grand nombre de fils de fer isolés entre eux. Le changement de magnétisme produit par les vibrations du diaphragme s'opère plus rapidement, augmentant ainsi l'effet d'induction. Ces noyaux ont la forme d'un segment de cercle.

Téléphone Ader. — M. Ader a eu l'idée d'amplifier les sons du téléphone en surexcitant les effets magnétiques du noyau aimanté de la bobine par la réaction d'une armature en fer. Si l'on approche d'une lame de ressort fixée à ses deux bouts les pôles d'un aimant en fer à cheval, on laisse entre ces pôles, et la lame un espace suffisant pour que cette dernière ne fêchisse pas, et que l'on mette ensuite une armature massive en fer derrière la lame, on face des pôles de l'aimant, on remarque que l'attraction de cet aimant est augmentée et devient alors suffisante pour infléchir la lame; cette flexion cesse d'ailleurs dès qu'on éloigne l'armature.

C'est en mettant à profit cette action que M. Ader a construit les téléphones dont l'emploi est généralisé. L'appareil se compose d'un aimant circulaire A dont les deux pôles magnétiques sont munis d'appendices oblongs en fer doux formant les noyaux des bobines à fil fin B, B (fig. 5 et 6). Ces bobines sont placées à l'intérieur d'une petite caisse résonnante circulaire O fermée par un diaphragme MM au-dessus duquel est disposée une armature excitatrice XX. Cette armature est constituée par un anneau de fer doux logé à la base de l'embouchure en ébonite E qui sert à transmettre et à écouter. L'aimant circulaire forme poignée. Deux bornes N, N placées

sur la caisse métallique, du côté opposé à l'encochure, servent à attacher les fils de la ligne. Ce téléphone présente l'avantage de n'avoir pas besoin de réglage.

M. Ader avait également songé à renforcer les sons du téléphone en employant un diaphragme en bois mince. L'appareil dit à *pôles conjugués* construit

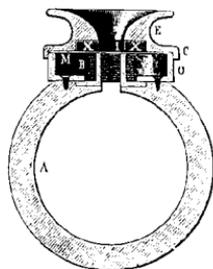


Fig. 5. — Téléphone Ader. (Coupe longitudinale.)

de cette façon, parle très haut et très nettement quand il est bien réglé; mais le réglage est difficile à conserver en raison des propriétés hygrométriques du bois. La disposition a donc été abandonnée pour les téléphones artificiels; elle a été appliquée pour reproduire des fanfars de cors de chasse. Dans ce dernier genre de téléphone les deux pôles de l'aimant,

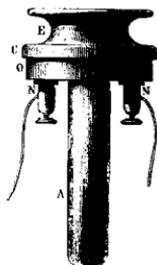


Fig. 6. — Téléphone Ader. (Vue de côté.)

rés rapprochés l'un de l'autre, agissent sur une armature très légère fixée au diaphragme de bois.

M. Highi a employé, également dans le but de renforcer les sons, un diaphragme en parchemin de 15 centimètres de diamètre portant une armature métallique légère actionnée par le pôle d'un aimant Bc1. Mais la nature hygrométrique de ce diaphragme n'a pas permis d'obtenir des résultats constants.

Tels sont les principaux types de téléphones magnétiques.

Ces types ont reçu ensuite une série de modifications, de sorte qu'il existe aujourd'hui une foule de modèles de téléphones qui rendent d'excellents services. Il est impossible de les passer tous en revue; nous signalerons donc les plus récents et les plus employés.

Modifications diverses apportées aux types primitifs.

Téléphone à pôles concentriques de M. d'Arsonval. — Dès l'année 1877, le Dr d'Arsonval avait

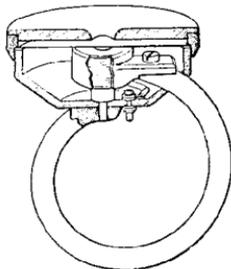


Fig. 7. — Téléphone à pôles concentriques de M. d'Arsonval.

observé qu'on augmente beaucoup la force du téléphone en faisant agir sur la plaque vibrante les

deux pôles de l'aimant, et que, toutes choses égales d'ailleurs, il y a grand avantage à terminer l'aimant par des bobines plates très rapprochées. Ses expériences ultérieures lui ayant démontré que la partie vraiment active du fil est celle qui se trouve logée entre les pôles de l'aimant, il fut conduit à soumettre la totalité du fil à l'influence du *CHAMP MAGNÉTIQUE*, en donnant à ce champ une forme annulaire, comme l'avait déjà fait Niskien pour les *électro-aimants* (fig. 7). Les deux pôles, rendus ainsi concentriques, sont alignés dans un même plan très rapproché de la plaque vibrante, et l'espace compris entre eux est occupé par la bobine, qui se trouve ainsi entièrement noyée dans un champ magnétique. Grâce à cette disposition, toutes les lignes de force du champ magnétique sont perpendiculaires à la direction du fil de la bobine et subsistent, par conséquent, au maximum, l'influence du courant. L'aimant a la forme d'un élément de spire, disposition ayant l'avantage de bien concentrer les lignes de force dans l'espace annulaire et de permettre un montage solide et facile de toutes les parties.

Téléphone à aimants plats accouplés de M. Teilloux. — Ce téléphone a deux bobines; sa monture est



Fig. 8. — Téléphone de M. Teilloux. (Vue de l'aimant.)

métallique et son réglage permanent (fig. 8 et 9). Il est caractérisé par la forme et la disposition du système d'aimant composé d'un ou plusieurs couples de disques découpés au balancier, de manière à affecter la forme spéciale représentée fig. 8, et superposés de

façon à reporter les pôles de même nom dans le voisinage des trous destinés à recevoir la partie des noyaux en fer doux des deux bobines servant à fixer invariablement le couple sur le fond de la boîte mé-

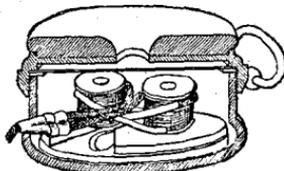


Fig. 9. — Vue intérieure du téléphone de M. Teilbour.

tallique. Cet instrument est léger, solide et indéformable; il conserve bien son magnétisme.

Téléphone à plaque polarisée du capitaine R. Colson. — M. le capitaine du génie Colson a imaginé un perfectionnement du téléphone Bell, en cherchant, par une meilleure utilisation des lignes de force, à augmenter l'amplitude du son.

La plaque du téléphone Colson est placée entre les deux pôles de l'aimant (fig. 10); l'un des pôles est formé

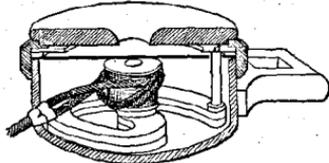


Fig. 10.

Vue intérieure du téléphone du capitaine R. Colson.

par un noyau de fer doux, qui agit au centre de la plaque et porte la bobine; l'autre est constitué par un anneau de fer doux qui influence les bords de la plaque dont il est séparé par une substance non magnétique. La plaque est ainsi polarisée du centre à la circonférence et soumise tout entière, de même que la bobine, à l'action du champ magnétique.

Téléphone à armatures mobiles de M. Boisselot. — Cet appareil, qui a l'aspect des appareils similaires (fig. 11), possède cependant deux plaques vibrantes superposées; la plaque du dessous est en fer, l'autre est en mallechort laminé à froid; celle-ci porte près de son centre deux petites armatures rivées et destinées à recevoir les bobines. Sur leur périphérie ces deux plaques sont pincées entre un anneau en cuivre formant une cuvette extérieure et de petites bagues filetées. La forme de l'aimant rappelle celle du fer à cheval, mais il est disposé de telle sorte qu'il présente un très grand développement sous un très petit volume; cet organe est fixé à l'extérieur de la cuvette par deux oreillettes, de manière à laisser complètement indépendantes les deux plaques vibrantes. Les têtes des rivures fixant les armatures sur la plaque sont très près des pôles de l'aimant qui les influence; grâce à cette disposition, les deux plaques vibrent simultanément sous la plus légère variation magnétique, et toutes les actions du téléphone se trouvent utilisées de la manière la plus efficace. Les

effets d'induction sont aussi très énergiques, car les armatures, par leur position dans le champ magné-

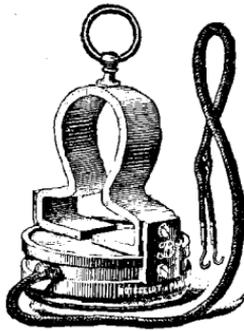


Fig. 11. — Téléphone Boisselot.

tique, constituent de petits aimants à double polarité très puissants.

Téléphone de M. Goloubitsky. — Partant de ce fait que plusieurs téléphones placés au point de réception peuvent reproduire simultanément la parole sans qu'il y ait perte sensible de son dans chacun d'eux, M. Goloubitsky a pensé que, en condensant en un seul tous ces téléphones ainsi séparés, on obtiendrait des sons plus énergiques, et que plusieurs aimants réagissant à la fois sur le même diaphragme pourraient résoudre le problème, à condition, bien entendu, que les vibrations provoquées par eux fussent concordantes et ne pussent donner lieu à des interférences d'ondes sonores. Comme la présence de plusieurs aimants devant un diaphragme écarte leur action poilaire du centre, et que pour obtenir le maximum d'effet il fallut les faire réagir par leurs deux pôles à la fois, M. Goloubitsky a cherché quelle position de ces aimants autour du point central était la plus favorable au développement de sa vibration, et s'est trouvé conduit à étudier la manière dont vibre un diaphragme téléphonique sous l'influence des ondes sonores résultant de sons articulés. Il est certain que pour être dans les meilleures conditions il devait placer ses pôles magnétiques suivant les lignes du diaphragme correspondant aux ventres des vibrations. Les expériences entreprises à cet égard ont démontré qu'au centre d'un diaphragme téléphonique est une partie inerte pouvant atteindre plus d'un centimètre de diamètre, tandis que la partie où les vibrations se propagent se trouve dans une zone médiane située à environ un tiers du diamètre de la plaque. Cela indiquait qu'on pouvait avec avantage éloigner les bobines du centre du diaphragme.

M. Goloubitsky, se fondant sur ces considérations, s'est arrêté à l'emploi de deux aimants en fer à cheval croisés à angle droit et dont les pôles forment les sommets d'un carré parfait. Les bobines à noyaux de fer doux terminant les pôles des deux aimants sont relâchées d'abord de manière à correspondre aux deux pôles différents d'un même aimant, et les deux paires de bobines sont ensuite réunies de manière que le courant passe de l'une dans l'autre en tension.

La construction du téléphone Goloubitsky a donc été fondée sur le raisonnement, ce qui donne à cet

appareil un certain intérêt; mais, en pratique, il n'est pas meilleur que d'autres moins lourds, plus maniables et moins coûteux. Aussi est-il peu usité.

Téléphone-montre de M. Barbier. — Le téléphone-montre de M. Barbier, représenté fig. 12, constitue un très bon transmetteur magnétique et un excellent ré-

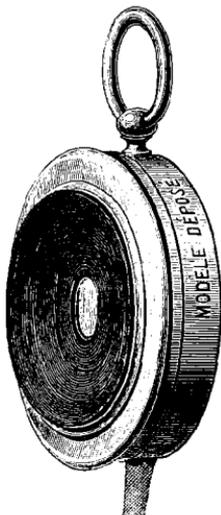


Fig. 12.

Téléphone-montre de M. Barbier. (Grandeur naturelle.)

cepteur. La simplicité de sa construction permet de le livrer à un prix des plus réduits. Il est entièrement métallique et par conséquent indélébile.

Téléphone à champ magnétique fermé de M. Krebs. — M. Krebs a construit un téléphone dans lequel le champ magnétique est produit au moyen d'un ou plusieurs aimants dont les pôles sont recueillis, d'une part, par le noyau de fer doux portant la bobine; de l'autre par la plaque de fer doux formant la membrane vibrante, et dont le centre est maintenu à une faible distance de l'extrémité du noyau. Ce qui caractérise ce téléphone, c'est l'épaisseur variable donnée à la plaque. Cette plaque est construite de telle façon qu'une section cylindrique quelconque, ayant comme axe celui du noyau ou de la plaque, est sensiblement constante et égale à celle du noyau. L'épaisseur de la plaque en regard du noyau est égale au quart du diamètre de ce dernier. En s'éloignant vers la circonférence, l'épaisseur x de la plaque diminue et doit être telle que l'équation $xD = \frac{r^2}{4}$ soit satisfaite. D étant le diamètre de la section cylindrique considérée sur la plaque, et r le diamètre du noyau. Cette loi de décroissance dans l'épaisseur de la plaque est suivie jusqu'au moment où cette dernière est suffisamment mince pour vibrer facilement. Pratique-ment, l'arrondissement est poussé jusqu'à $D = 8d$; d

le diamètre extérieur de la plaque est au moins égal à 10 d . Grâce à cette disposition, l'intensité magnétique résultant des aimants employés ne trouve de résistance sérieuse que dans la lame d'air comprise entre la plaque et l'extrémité du noyau. Celle-ci est rendue aussi faible que possible, mais telle que, dans ses vibrations, la plaque ne vienne pas toucher le noyau. Les variations du champ sont ainsi plus intenses et, par suite, la puissance du téléphone est plus grande que lorsque la plaque a une épaisseur constante. Dans ce dernier cas, en effet, si la plaque est mince, elle est saturée au centre; si elle est épaisse, ses vibrations sont très faibles.

Téléphone de M. Ochorowicz. — Le Dr Ochorowicz a construit un téléphone magnétique à deux plaques, dont voici la description d'après les *Comptes rendus de la Société française de physique*. « Le téléphone Ochorowicz est une modification de l'appareil de Bell; l'aimant a la forme d'un tube fendu; les deux pôles portent deux bobines au-dessus desquelles vibre une plaque en fer-blanc montée sur une boîte dont le fond est lui-même une plaque vibrante en fer fixée par son centre et d'une manière rigide entre les deux pôles de l'aimant. A cet effet, un tube de laiton entoure l'aimant dans sa partie médiane; c'est sur ce tube qu'est fixée la seconde plaque. Les deux plaques sont polarisées dans le même sens; quand l'une s'approche d'une des extrémités d'une bobine, l'autre s'éloigne de l'autre extrémité sous l'influence du même effort. Il en résulte une concordance parfaite des deux actions. »

On construit avec ces appareils des postes purement magnétiques avantageux pour les installations domestiques. (V. TÉLÉPHONE.)

Parmi les téléphones à deux ou plusieurs membranes, citons encore :

— Le téléphone double de M. Stevens, composé d'une bobine par l'intérieur de laquelle passent les deux pôles d'un aimant en fer à cheval. La bobine est libre autour d'un axe diamétral, ce qui lui permet d'osciller quand des courants inductoires la traversent; ses oscillations sont produites par un levier très léger sur deux membranes parallèles. Deux faibles ressorts ramènent la bobine dans sa position normale.

— Le téléphone de M. Pratt, qui a deux membranes parallèles entre lesquelles est fixée, à proximité, une bobine sans noyau et sans joues. La membrane placée vis-à-vis de l'embouchure a un trou central qui permet aux ondes engendrées par la membrane opposée de parvenir aussi à l'oreille.

— Le téléphone de M. Ebel, dans lequel l'une des membranes est chargée d'une haute polarité nord, l'autre d'une haute polarité sud au moyen de deux aimants. La bobine se trouve ainsi dans un champ magnétique passant entre les deux diaphragmes.

— Le téléphone de M. Ullmann, qui a un aimant en forme de tube fendu dans la direction de son axe. Les parties du tube à côté de la fente sont les pôles auxquels sont fixées deux bobines au moyen de noyaux en fer doux. La capsule qui les enferme consiste en deux plaques élastiques réunies par une couronne c ; polarisées dans le même sens. Ce téléphone ressemble beaucoup à celui de M. Ochorowicz.

— Le téléphone de M. Schwindt, qui, bien qu'ayant un seul diaphragme, doit être classé dans la catégorie des téléphones à deux ou plusieurs membranes, car les deux côtés du diaphragme agissent sur l'air qui l'entoure.

Téléphones sans diaphragme magnétique. — Ces appareils sont construits sur le principe suivant : sur le centre d'une membrane en matière quelconque, bois, ébonite, laiton, porcelaine, etc., est fixée une bobine avec trou central cylindrique. Dans ce trou pénètre le cylindre en fer doux qui surmonte l'aimant, mais sans toucher la bobine. Cette dernière est attirée ou repoussée par l'aimant suivant la direction et la force des courants qui la traversent, et ces mouvements sont transportés directement sur la bobine (ou la membrane.)

On peut citer comme appartenant à cette catégorie d'appareils :

Le téléphone de MM. Bassano, Slater et Hollins, celui de **M. Phelps** et le **téléphone à marteau de M. de Loch-Lahye** désigné par l'inventeur sous le nom de **PANTÉLÉPHONE**. Le pantéléphone se compose d'un épais bloc de bois, ou de toute autre matière, derrière lequel se trouve un levier à deux bras de même longueur. L'extrémité de l'un de ces bras presse sur le centre du bloc, tandis que l'extrémité de l'autre bras est munie d'une armature placée en regard d'un ou de deux électro-aimants polarisés par un fort aimant. Les variations dans le champ magnétique produisent contre le bloc de bois des chocs qui se transforment en reproduction de la parole. Ce téléphone a été essayé entre Bruxelles et Anvers à travers une ligne représentant 132 kilomètres de fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre et a donné de bons résultats.

Autres systèmes téléphoniques. — Nous résumons, d'après un article publié par M. Rothen dans le *Journal télégraphique de Berne*, la description d'un certain nombre de systèmes téléphoniques n'ayant pas de cadastre bien défini, mais qui sont intéressants.

Téléphone Lever. — Il est fondé sur le principe de l'**ELECTRONÈTRE** à mercure de M. Lippmann. Dans un tube étroit et vertical se trouve une colonne de mercure sur laquelle est placé un piston en aluminium qui, par sa pointe, touche le centre d'un diaphragme. L'espace entre le diaphragme et le niveau du mercure est rempli d'acide sulfurique. Les courants traversent le diaphragme, le piston et le mercure, et au point de contact entre le mercure et l'acide sulfurique se produit la réaction qui opère une transformation du ménisque, de laquelle résultent une variation de la pression du piston sur le diaphragme et l'oscillation de ce dernier.

Téléphone Pratt. — Il se compose d'une bobine sans noyau d'une résistance de 4 ohms seulement, d'un diaphragme mince placé entre cette bobine et un cornet, et d'une plaque épaisse fixée sur la bobine du côté opposé à celui du diaphragme.

Téléphone Bergmann. — C'est un téléphone sans bobine, se composant simplement de deux aimants en forme de tiges cylindriques et d'un diaphragme. Un de ces aimants est fixé au centre du diaphragme, l'autre à la capsule; les deux pôles de nom contraire au milieu de la capsule sont distants l'un de l'autre, mais réunis par un fil métallique faisant ressort. Le courant passe par les deux aimants et par le diaphragme; suivant l'inventeur, ce sont les variations du courant qui produisent les oscillations du diaphragme.

Téléphone Thompson et Jolin. — L'aimant est remplacé par un électro-aimant boîtier; le pôle non muni de bobine s'épanouit et entoure cette dernière; le diaphragme est une membrane non magnétique sur laquelle est fixée une armature circulaire.

Téléphone Taylor. — Il est basé sur l'attraction de deux courants parallèles. Sur deux membranes parallèles et très rapprochées sont collées deux spirales plates en fil de cuivre. Au milieu, entre les deux spirales, est une plaque de fer, percée d'un trou central, ainsi que la membrane la plus rapprochée du cornet d'audition. Ce téléphone est peu sensible.

Certains téléphones possèdent à un plus haut degré que d'autres la propriété de pouvoir servir de transmetteurs. M. Rothen cite les principaux types suivants :

Téléphone Charrière. — Il est composé d'un aimant en fer à cheval dont les deux pôles sont munis de bobines juxtaposées entre lesquelles vibre le diaphragme. L'une des bobines est fixe, l'autre peut être rapprochée ou éloignée.

Téléphone Pabst. — Cet appareil est analogue au précédent. D'un côté du diaphragme se trouve un aimant en fer à cheval muni de deux bobines, de l'autre une bobine formant anneau et combinée avec les autres bobines de façon que les actions sur le diaphragme s'additionnent.

Téléphone Hartmann et Braun. — Il est composé de deux aimants en fer à cheval placés de telle sorte que leurs pôles de nom contraire soient en regard. Le pôle S de l'un des aimants et le pôle N de l'autre aimant, placé en regard du précédent, portent deux bobines devant lesquelles est le diaphragme. Les deux autres pôles sont armés de deux pièces de fer doux. Le diaphragme est donc situé entre les deux bobines et les deux pièces de fer doux; la distance entre les armatures et le diaphragme peut être réglée à volonté.

Téléphone Lugo. — C'est un téléphone Bell autour de la bobine duquel sont passées un grand nombre de feuilles d'étain en forme d'anneaux entrecroisés par des anneaux de papier paraffinés constituant un condensateur circulaire, intercalé dans le circuit comme **SHUNT** et ayant pour effet, suivant l'inventeur, d'augmenter l'intensité du magnétisme et de détruire en même temps les effets nuisibles de la charge statique de la ligne.

Téléphone Spaulding ou Krotophone. — Cet appareil est composé d'une tige en charbon dont la pointe touche verticalement le centre d'un disque de même matière. Si aux deux bouts d'une ligne on place un krotophone et que l'on intercale une pie en un point quelconque de cette ligne, le courant passe par les disques et les tiges en charbon. En parlant contre l'un des disques on produit des variations de courant qui, à l'autre bout de la ligne, engendrent entre la tige et le disque des crépitations, lesquelles se transforment en reproduction de la parole.

Téléphone J.-P. Thompson. — Devant un fort aimant est un électro-aimant à deux bobines dont les deux noyaux de fer doux sont réunis par une pièce de même métal traversée par une tige autour de laquelle l'électro-aimant peut osciller; mais cette tige est entourée d'une matière élastique. A l'un des noyaux est fixée une légère tige réunie par son autre extrémité au diaphragme, qui peut être constitué par une matière non magnétique.

Téléphone Gishorn. — Il est composé de deux aimants en fer à cheval formant une espèce de rectangle, les pôles de même nom se touchant. Les pôles sont, à l'intérieur du rectangle, munis de bobines avec noyau creux en fer doux; les bobines sont juxtaposées et rapprochées l'une de l'autre; entre elles vibre le diaphragme, qui a une armature dans son centre.

Applications du téléphone. — Les applications du téléphone sont fort nombreuses.

Les téléphones magnétiques sont employés pour établir des communications téléphoniques à petite, à moyenne et à grande distance, soit seuls, soit combinés à des microphones (c. téléphones). Dans ce dernier cas ils servent de récepteurs.

Ils servent, concurremment avec le microphone, pour effectuer certaines recherches scientifiques, puisqu'ils permettent de déceler la présence des courants électriques les plus faibles. Parmi les appareils de mesure qui comportent l'emploi du téléphone, citons la BALANCE INDUCTIVE DE HUGHES, instrument qui constitue un excellent explorateur chimique, etc.

Voici encore une application qui présente un certain intérêt pratique : le téléphone peut être utilisé pour la précision du temps comme une sorte de baromètre. Il suffit pour cela de planter dans un sol bon conducteur, à 5 ou 6 mètres d'écartement, deux barres de fer fendues et ouvertes à leur extrémité inférieure, afin d'augmenter la surface du contact avec la terre; de temps à autre, tous les huit ou quinze jours, on en arrose le pied avec un peu d'eau, tenant en dissolution du chlorhydrate d'ammoniaque. Chacune des barres est reliée au fil conducteur d'un téléphone placé à poste fixe à l'intérieur d'une habitation voisine de l'endroit où sont établies les barres. On est ainsi prévenu, de douze à quinze heures à l'avance, des perturbations atmosphériques qui se préparent. Lorsque le temps est orageux, il se produit sur la plaque vibrante du téléphone une sorte de grésillement caractéristique dont l'intensité augmente au fur et à mesure que l'orage se rapproche. A chaque éclair correspond un coup sourd, net et accentué sur la plaque. Quant aux changements de température, ils sont caractérisés par une sorte de gazouillement.

Signalons aussi une application que compile faire la Compagnie générale transatlantique pour établir une communication rapide de terre avec un paquebot obligé de mouiller en rade lorsqu'il arrive devant le port à une heure où le marée ne permet pas l'entrée dans les bassins. On mouillera sur rade une bouée téléphonique reliée par un câble à un poste téléphonique à terre. Tous les paquebots ont à bord le téléphone, il suffirait donc qu'une embarcation partit du bord en remorquant un câble téléphonique qu'elle traiterait celui supporté par la bouée pour mettre le navire en relation avec le port, les abonnés de la ville et même avec ceux des villes voisines, s'il existe un réseau téléphonique interrurbain.

Le téléphone peut aussi servir à transmettre des signaux entre des navires en prenant pour conducteur l'eau de la mer.

Un officier de la marine anglaise, M. Boyer, a expérimenté avec succès des expériences de téléphonie sous-marine. Son appareil transmetteur est une cloche en un gong relié au bordage du navire par un tube métallique et plongeant assez profondément dans l'eau. Le tube enveloppe une ligne qui peut être manœuvrée de manière à frapper la cloche avec un marteau placé à l'extrémité de cette ligne.

Le récepteur de M. Boyer est un téléphone magnétique composé d'un aimant en fer à cheval isolé avec un enroulement et renfermé dans un cylindre en cuivre. L'une des extrémités de ce cylindre est fermée par une plaque vibrante très mince. Le pôle central de l'aimant est entouré d'une bobine de fil d'ou partent deux conducteurs isolés allant jusqu'au téléphone magnétique de l'observateur. Ce récepteur est placé au centre d'un grand timbre et de telle sorte que la plaque vibrante soit opposée au navire.

M. Boyer a obtenu, dit-on, des résultats satisfaisants de transmission à la distance de 1,600 mètres. Il propose d'employer des explosions de colon-poudre pour faire parvenir les sons à des distances plus grandes.

TÉLÉPHONIE. — Art de transmettre et de recevoir les sons à distance.

De tout temps on a cherché les moyens de transmettre les sons à distance, et on a imaginé diverses dispositions plus ou moins ingénieuses. Un Français, François Sudre, eut le pensée de créer une langue universelle dont les mots étaient composés des sept notes de la gamme, et l'on pouvait former avec les combinaisons de ces notes un vocabulaire général. La rapidité de transmission du son fit bien vite penser à utiliser la langue musicale pour en faire un système télégraphique; ce fut l'origine de la télégraphie acoustique que Sudre a nommée avec raison *téléphonie*.

Plus tard Sudre modifia ses procédés, réduisit à cinq le nombre des notes employées, puis à trois, puis parfois même à une seule.

L'inventeur fit de nombreuses expériences, qui furent couronnées de succès; mais son système ne fut cependant pas adopté.

L'invention du télégraphe magnétique de Bell, en 1876, a permis de résoudre le problème de la transmission des sons et des paroles à distance; on a ensuite perfectionné ce système de téléphonie électrique par l'adjonction du microphone.

Téléphonie électrique. — La découverte du téléphone par G. Bell a permis, dès l'année 1876, d'installer des communications téléphoniques à une distance relativement grande, mais qui, en pratique, se trouve restreinte par la présence de courants anormaux dans les fils conducteurs, par les effets d'induction déterminés par les fils voisins, par les dérivations, etc. Il se manifeste ainsi dans les téléphones récepteurs des bruits qui finissent par annuler les sons résultant des courants si faibles émanés des téléphones magnétiques employés comme transmetteurs.

Le téléphone magnétique de Bell et ceux qui en dérivent ne peuvent donc être avantageusement employés que pour la **téléphonie domestique**, c'est-à-dire que pour mettre en correspondance les diverses parties d'un édifice ou deux points peu distants et reliés par une ligne bien établie soustraite à l'action inductive des conducteurs voisins.

Heureusement, la découverte et l'emploi du microphone a permis d'étendre considérablement le champ des communications téléphoniques et a rendu possible la création de réseaux téléphoniques urbains et l'organisation de la **téléphonie urbaine**. Mais les difficultés auxquelles on s'est heurté au début, lorsqu'on ne possédait que les téléphones magnétiques, se présenteront de nouveau lorsqu'un voudrait non plus se borner à établir des communications entre les habitants d'une même ville, mais à appliquer ce nouveau moyen de correspondance aux relations entre les habitants de villes éloignées. On fut ainsi amené à étudier ce que nous appellerons le problème de la **téléphonie à longue distance**. Comme l'établissement de lignes spéciales entraîne toujours d'assez grandes dépenses, on chercha tout naturellement à utiliser pour les correspondances téléphoniques les fils télégraphiques, de là l'étude de la télégraphie et de la téléphonie simultanées.

Il est bien difficile d'établir une division nette entre les appareils servant à la téléphonie domestique et ceux destinés à la téléphonie urbaine. Ces derniers

comprennent toujours des microphones et des téléphones récepteurs, et constituent ce que l'on appelle un poste microtéléphonique; mais la transmission peut s'effectuer soit par des courants directs, soit par des courants induits. Or, dans une foule de circonstances, l'emploi des téléphones magnétiques seuls permettant pas d'établir des communications suffisamment nettes, même entre des postes rentrant dans la catégorie de la téléphonie dite domestique, tels,

par exemple, que ceux destinés à la correspondance des bureaux d'une grande administration ou des différentes parties d'une usine, on se trouve nécessairement conduit à l'emploi des appareils microtéléphoniques soit à courants directs, soit à courants d'induction. Par contre, dans certains réseaux urbains, lorsque les distances ne sont pas considérables et quand le nombre des abonnés n'est pas trop grand, on peut parfaitement se contenter d'appareils microtélépho-

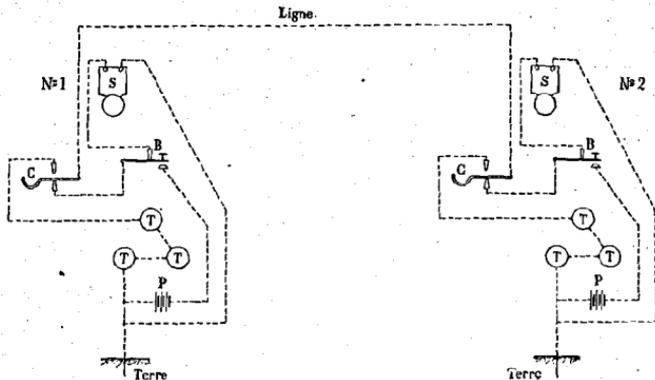


Fig. 1. — Poste téléphonique magnétique.

S, S. Sonneries. — B, B. Boutons d'appel. — C, C. Crochets-commutateurs. — T, T. Téléphones récepteurs et transmetteurs. — P, P. Piles.

niques fonctionnant à courants directs. Nous examinerons donc comment on peut établir les communications téléphoniques :

- 1° A l'aide de téléphones magnétiques;
- 2° A l'aide de microtéléphones fonctionnant avec des courants de pile, c'est-à-dire à courants directs;
- 3° A l'aide de microtéléphones fonctionnant avec des courants induits.

1° POSTES TÉLÉPHONIQUES MAGNÉTIQUES.

Un poste téléphonique magnétique, c'est-à-dire n'admettant comme appareils transmetteurs et récepteurs que des **TÉLÉPHONES**, comprend au moins : un téléphone qui peut servir alternativement à transmettre et à recevoir; un bouton d'appel; une sonnerie actionnée par une pile, et un commutateur servant à mettre la ligne de la position d'attente (sur sonnerie), où elle se trouve habituellement, sur la position de réception, c'est-à-dire sur téléphone, et réciproquement.

On peut employer n'importe quel modèle de téléphone; mais, comme il est beaucoup plus commode de pouvoir écouter et parler en même temps, on place généralement à chaque poste deux téléphones; l'un sert de transmetteur, l'autre de récepteur; on emploie même souvent deux téléphones récepteurs, que l'on applique aux deux oreilles pendant qu'on parle devant le troisième téléphone servant de transmetteur.

La *Fig. 1* donne le schéma des communications dans ce dernier cas. Cette installation est fort simple; on peut employer une ligne à double fil ou une ligne à simple fil, le retour se fait alors par la terre (c'est ce qui est indiqué sur la figure).

Le commutateur est automatique; il se compose, comme on le voit, d'un levier terminé par un cro-

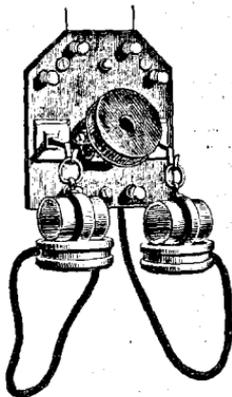


Fig. 2.

Poste téléphonique monté avec trois téléphones Ochowicz. Tant que ce téléphone est suspendu, il maintient le levier-commutateur abaissé, et les circuits sont

disposés de façon qu'il suffit de pousser le bouton B pour envoyer le courant de la pile du poste dans la sonnerie du poste correspondant, qui se met alors à tinter; lorsque, au contraire, on décroche le téléphone, le levier-commutateur, sollicité par un ressort, se relève et la ligne est reliée aux téléphones.

Nous donnons la vue de quelques modèles de postes téléphoniques.

La fig. 2 représente un poste composé de trois téléphones Ochorowicz; le téléphone qui sert de transmetteur est fixé sur une planchette qui s'accroche le long d'un mur; les deux téléphones récepteurs

sont suspendus à des crochets; le crochet de gauche sert de commutateur.

La fig. 3 donne la vue d'un système de poste composé d'un bouton-sonnerie avec commutateur à crochet auquel sont suspendus deux téléphones Ader, l'un servant de transmetteur, l'autre de récepteur; ces deux téléphones sont portés sur une même poignée.

La fig. 4 représente un autre système de poste téléphonique domestique supposé en relation avec le précédent et réduit à sa plus simple expression: il se compose d'un bouton-sonnerie au crochet-commutateur duquel est suspendu un téléphone Ader

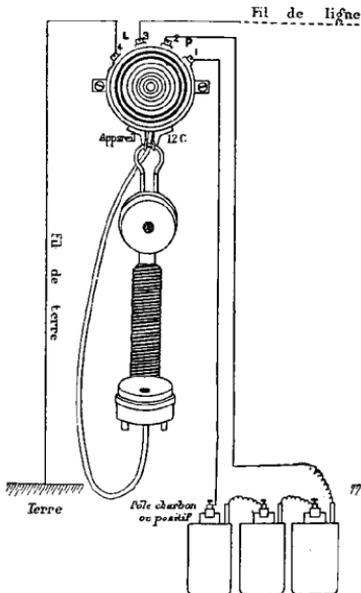


Fig. 3. — Poste téléphonique magnétique avec deux téléphones Ader montés sur une même poignée.

servant à la fois de transmetteur et de récepteur.

Les figures permettent de comprendre comment tous ces appareils doivent être reliés entre eux, à la pile qui actionne la sonnerie et à la ligne supposée unique, le retour se faisant par la terre.

Voici maintenant quelques renseignements pratiques à l'usage de ceux qui veulent faire eux-mêmes une installation. On attache aux bornes 1 le fil allant au pôle positif de chaque pile; aux bornes 2 le fil allant au pôle négatif de chaque pile; à la borne 3 de chaque poste le fil de ligne; à la borne 4 de chaque poste le fil de terre. (Il faut avoir bien soin de dénuder les fils avant de les rattacher aux bornes, et de les maintenir de distance en distance sans trop les serrer avec de petits crochets dils cavaliers.)

Pour assurer une bonne terre, point très important, on dénudera l'extrémité du fil dit de terre

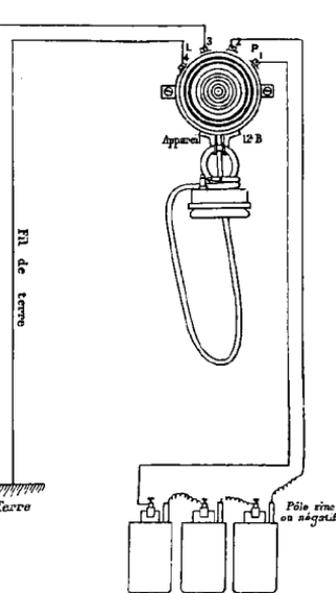


Fig. 4. — Poste téléphonique magnétique avec un seul téléphone Ader.

sur une assez grande longueur, pour pouvoir lui faire faire une vingtaine de tours, en ayant soin de le serrer fortement, autour d'un tuyau de gaz, et de préférence d'eau, dont on aura soigneusement gratté la surface. — A défaut de tuyau métallique, on creusera un trou assez profondément pour atteindre le sol humide, si possible, et on y enterrera une plaque de cuivre ou de zinc d'environ 0m,50 de côté, à laquelle on aura soudé le fil de terre. On aurait aussi une bonne terre en soudant le fil de terre au conducteur d'un PARATONNERRE d'édifice.

En ce qui concerne l'emploi des appareils: au repos le téléphone doit être suspendu au crochet double; cette position est indispensable au fonctionnement des sonneries d'appel. — Pour sonner le poste correspondant, on appuie sur le bouton, sans décrocher le téléphone, et on attend que la personne présente à ce poste réponde en appuyant, elle aussi,

sur le bouton de la sonnerie; alors seulement on porte le téléphone à la bouche et à l'oreille. On parle *sans crier*, en ayant soin de placer l'ouverture du téléphone bien en face de la bouche. La conversation terminée, on suspend le téléphone au crochet double.

Dans le but de rendre l'installation du téléphone encore moins coûteuse, on a eu l'idée de combiner le bouton d'appel d'une sonnerie électrique avec un téléphone magnétique et un commutateur. L'ensemble de ces différents organes a été désigné sous le nom de *bouton-téléphone*.

La fig. 5 représente un bouton-téléphone et son socle. Ce dernier (figurés à gauche) se fixe au mur ou sur une planchette; il est supposé vu obliquement; il est formé d'une plaque métallique munie d'un rebord sur lequel sont fixés quatre griffes; ces griffes embrassent la partie mobile (figurée à droite) lorsque l'appareil est au repos. Les deux fils

qui aboutissent d'habitude à un bouton d'appel ordinaire viennent se fixer à deux bornes placées sous le rebord du support (ces bornes sont cachées sous la figure), et de ces bornes partent deux conducteurs, contenus dans un cordon souple, qui arrivent à la partie mobile. Cette partie mobile, ou bouton proprement dit, comprend un récepteur téléphonique dont la membrane constitue le fond, et dont l'autre face porte le bouton. Dans l'intérieur de cette boîte est placé le commutateur, qui met la ligne en relation avec la sonnerie lorsque la partie mobile est maintenue par la griffe, et sur téléphone lorsque cette partie mobile a été enlevée de son support.

Le bouton-téléphone permet d'appeler et de correspondre téléphoniquement d'une partie à l'autre d'un édifice, par exemple d'une chambre au bureau d'un hôtel, d'un appartement avec le concierge de la maison: il suffit d'appliquer à côté du TABLEAU IN-

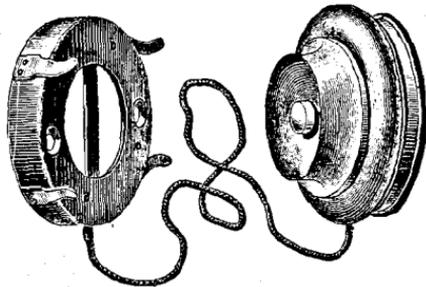


Fig. 5. — Bouton-téléphone de M. Barbier.

DICTIONNAIRE et de la SONNERIE placés dans ce bureau ou dans la loge du concierge une planchette sur laquelle il y a autant de boutons d'appel que de numéros dans le tableau. Afin de ne pas être obligé d'installer à côté de chaque bouton-téléphone une sonnerie, on place au-dessous de cette planchette une bobine d'induction avec interrupteur automatique dans le circuit primaire de laquelle circule le courant de la pile quand on presse sur un bouton spécial. Les courants succédés ainsi produits dans le circuit secondaire sont dirigés dans le bouton-téléphone que l'on a en vue en pressant parmi les boutons placés près du tableau celui qui porte le même numéro. Les cliquetis résultant des oscillations de la membrane du téléphone est assez fort pour qu'on entende l'appel dans une chambre ou dans un bureau.

Mais pour pouvoir agir de l'endroit où est situé le tableau sur un bouton-téléphone quelconque on rencontre une difficulté si l'on veut se servir des installations habituelles des sonneries électriques. De chaque bouton d'appel, en effet, ne partent que deux fils; mais dans un système de fil double on ne peut pas donner de signaux dans deux directions, si l'on ne place pas une pile à chaque bout. M. d'Arsonval a tourné cette difficulté en complétant le bouton-téléphone par quatre éléments ACCUMULATEURS.

Il est évident que l'obligation de se servir de piles pour actionner la sonnerie d'appel d'un *poste téléphonique magnétique* constitue un grave inconvénient et presque un non-sens. On a donc songé à employer des SONNERIES d'appel magnétiques fonctionnant sous l'action de courants fournis par de petites MACHINES

d'induction analogues à celles des trousseaux électromédicales, et dérivées du type connu dans les cabinets de physique sous le nom de machines de Clarke. Les courants d'induction engendrés par ces magnéto sont reçus par de petites sonneries constituées par des électro-aimants dont les armatures, munies de marteaux, oscillent entre deux timbres. (On trouvera plus loin la vue et la description de postes micro-téléphoniques comprenant des sonneries de ce genre.)

MM. Perridon et Trouvât ont construit, en 1880, un avertisseur téléphonique qui remplace les sonneries; la plaque vibrante du téléphone constitue un trembleur; une aiguille pouvant occuper différentes positions sert de COMMUTATEUR et permet ainsi de mettre dans le circuit téléphonique une PILE LOCALE appropriée qui fait vibrer la plaque du téléphone transmetteur. Les EXTRA-COURANTS ainsi produits font vibrer fortement le téléphone récepteur. Dès que l'appel a été entendu, les deux interlocuteurs remettent l'aiguille sur la position de repos et peuvent alors correspondre.

Il existe actuellement une quantité considérable de systèmes téléphoniques plus ou moins simplifiés en vue des applications domestiques; nous ne pouvons songer à les décrire tous ici; mais ce qu'il importe de noter, c'est que l'on peut transformer facilement une installation de sonneries électriques existant dans un appartement, une maison, des bureaux, etc., en une installation de téléphones domestiques, en utilisant les fils, tableaux indicateurs, piles et sonneries existants.

Dans certains cas on se trouve conduit à créer un

bureau ou STATION CENTRALE où aboutissent les lignes de tous les postes qui peuvent avoir à correspondre entre eux et à établir à cette station centrale un tableau indicateur dont la manœuvre est confiée à un agent chargé de donner les communications qu'on lui demande.

2° POSTES MICROTÉLÉPHONIQUES.

Lorsque la distance qui sépare les deux postes en correspondance dépasse une certaine longueur, les sons se transmettent trop faiblement et il faut alors les renforcer en employant un microphone. Edison a créé, en 1876, un téléphone à charbon qu'il a appelé MICROTÉLÉPHONE; ou a ensuite complété le système en transformant les courants de pile modifiés par le microphone en COURANTS INDUITS à haut POTENTIEL, en leur faisant traverser l'hélice primaire d'une bobine d'INDUCTION, laissant aux courants induits développés dans l'hélice secondaire le soin de traverser la ligne et d'agir sur le récepteur.

L'ensemble d'un microphone et d'un ou de deux téléphones récepteurs constitue, avec les appareils accessoires (sonnerie, bouton d'appel, commutateur et pile), un poste microtéléphonique, et il y a deux cas à considérer :

(a) Celui où le courant envoyé sur la ligne est celui de la pile, c'est-à-dire où le microphone n'est pas accompagné d'une bobine.

(b) Celui où le courant envoyé sur la ligne est un

courant d'induction, c'est-à-dire où le microphone est accompagné d'une bobine.

(a) **Postes microtéléphoniques sans bobine d'induction ou à courants primaires.** — Ces postes constituent une sorte d'intermédiaire entre le système simplement magnétique et celui qui fait usage de courants induits au départ. Le microtéléphone sans bobine d'induction permet

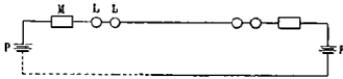


Fig. 6.

déjà de correspondre à une plus grande distance que le téléphone magnétique. Il est fort employé pour la téléphonie urbaine quand les distances ne sont pas trop grandes, et pour la téléphonie domestique parce que les paroles sont transmises avec plus de puissance qu'avec les transmetteurs magnétiques.

Les postes de ce genre peuvent être construits avec des microphones et des téléphones d'un modèle quelconque; l'installation en est fort simple.

La fig. 6 indique la disposition des appareils et leur mode de réunion avec la ligne : à chaque poste se trouve un microphone M relié d'une part au fil

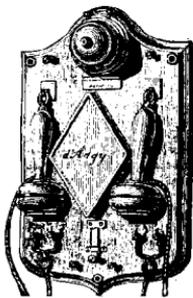


Fig. 7.



Fig. 8.

de ligne, d'autre part à l'un des pôles d'une pile P mise en communication avec un fil de retour ou avec la terre; le ou les récepteurs L, L sont intercalés dans le circuit. Enfin on complète l'installation par une sonnerie d'appel à chaque poste et par un commutateur automatique.

Le microphone, les téléphones récepteurs et la sonnerie, son bouton et le commutateur se montent souvent sur la même planchette ou, dans d'autres cas, sur un support à pied.

Nous donnons comme exemples (fig. 7 et 8) les vues d'un poste-applic et d'un poste microtéléphonique de bureau fonctionnant au moyen de courants directs et construits par M. Mildé avec des microphones à poussière de M. d'Argy.

Le poste de bureau (fig. 8) n'exige, pour être relié aux fils de pile et de ligne, que trois conducteurs, ce qui est avantageux.

Les récepteurs sont des téléphones Bell modifiés de façon à permettre de les régler une fois pour toutes.

La fig. 9 représente la vue d'un autre poste microtéléphonique genre applic, fonctionnant par courants directs, construit par M. Trouvé.

La Société générale des Téléphones a créé un type de poste microtéléphonique simplifié, qui est employé pour les installations domestiques et qui comprend, ainsi que le montre la fig. 10 : une boîte surmontée d'un bouton d'appel et contenant un commutateur automatique dont le crochet dépasse la

boîte; un microphone à poussière, système Berthon, et un téléphone Ador réunis tous deux à une même poignée.

M. le Dr Herz a appliqué au bouton-téléphone un

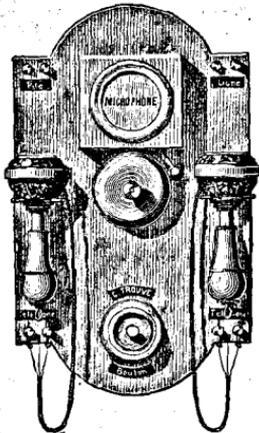


Fig. 9.

microphone de dimensions très réduites analogue à celui de M. Dejongh et logé dans le socle du bouton-téléphone. En enlevant le couvercle on a le récepteur



Fig. 10.

téléphonique en main et le diaphragme du microphone fixé contre la paroi.

La combinaison de pareils boutons-téléphones perfectionnés avec sonneries et tableaux est assez compliquée et demande beaucoup de fils, plusieurs commutateurs de genres différents et d'autres accessoires, de sorte que l'on peut se demander, dit M. Rothen

(*Journal télégraphique de Berne*, n° 10, tome XI), si le système plus simple, sans microphone, n'est pas préférable dans la plupart des cas.

Signalons aussi le modèle de microtéléphone que M. Clamond a combiné pour les installations domestiques. L'appareil est établi dans un tube cylindrique de 6 centimètres de diamètre dans lequel est fixé le microphone; le téléphone récepteur, formant couvercle, s'emboîte dans la partie antérieure de l'appareil; on le retire pour le porter à l'oreille lorsqu'on veut se servir de l'instrument. Le microphone, très simple et très sensible, se compose d'une plaque mince en charbon derrière laquelle est un bloc de même substance muni de cavités circulaires. Chaque cavité contient une petite boule de charbon qui, reposant sur ses bords, trébuche et vient appuyer contre la plaque vibrante, qui se trouve ainsi reliée au bloc postérieur. Derrière le disque de bois, qui porte le microphone à sa partie antérieure, se trouve un commutateur combiné de telle sorte que, lorsque le téléphone est placé dans la boîte et par conséquent à l'état de repos, le courant envoyé par le poste correspondant actionne la sonnerie d'appel. Un bouton permet d'appeler ce poste. Enfin, quand on retire le récepteur de sa boîte, le commutateur se remet de lui-même sur microphone, et la conversation peut s'engager.

L'appareil de M. Clamond peut être fabriqué à bas prix, et il est ainsi appelé à rendre de grands services dans les installations domestiques.

(b) **Postes microtéléphoniques avec bobine d'induction ou à courants d'induction.** — Il est nécessaire de recourir à ce système toutes les fois que l'on désire communiquer à une distance notable. Les courants induits ont, en effet, une très grande tension; ils se distinguent des courants voltaïques par leur instantanéité de production et leurs inversions successives, se prêtent par conséquent beaucoup mieux que ceux-ci à des variations de tension rapides, telles que celles qui conviennent aux transmissions d'ondes sonores; et l'expérience, confirmant la théorie, a démontré que l'on obtient de cette transformation de bien meilleurs effets sur les longs circuits. Les bobines d'induction sont donc devenues l'accessoire important des transmetteurs microphoniques à charbon.

Le microphone transmetteur et le fil inducteur (gros fil) de la bobine sont intercalés dans le circuit d'une pile, et les extrémités du fil induit (fil fin) sont reliées aux fils de ligne si cette ligne est double, ou à la ligne et à la terre si l'on emploie celle-ci comme fil de retour.

Théorie du système — De nombreuses théories ont été émises pour expliquer le fonctionnement du système que nous venons de décrire.

Quand on parle devant le microphone, on fait varier l'intensité du courant envoyé par la pile dans le fil inducteur de la bobine et on détermine, par suite, dans le fil induit de cette même bobine, des variations de courant correspondantes. Le courant induit devient ondulatoire, et ce sont ces ondulations qui animent l'électro-aimant de l'appareil récepteur et font, par suite, vibrer sa plaque à l'unisson de celle du microphone transmetteur.

Voici une première explication due à Bell et qui donne certainement quelque idée du phénomène quant à la transmission; mais la réception n'est pas aussi bien expliquée.

« Il faudrait admettre, en effet, que ces courants ainsi figurés à l'image de la parole feraient naître à

leur tour dans l'aimant récepteur des modifications du champ magnétique semblables à elles-mêmes; cela est contraire à ce que nous savons, dit M. Géraldy (*Lumière électrique*, février 1886). Le champ magnétique est fonction de l'intensité, mais non semblable à elle; on pourra diminuer la difficulté en remarquant que les modifications téléphoniques sont extrêmement petites et peuvent conserver une proportionnalité suffisante qui ne se maintiendrait pas avec des variations plus fortes. Cela se présente dans divers cas, et l'explication est en somme admissible; mais le fait est bien plus grave pour le microphone. On conçoit bien que les vibrations de la plaque des contacts puisse modeler le courant à l'image de la parole; mais ce n'est pas ce courant-là qui va au récepteur; il passe par une bobine d'induction; à ce passage le courant va se transformer complètement, le courant induit n'est pas du tout semblable au courant inducteur. Si celui-ci est représenté par une certaine fonction, l'autre le sera par la fonction dérivée; le lien mathématique est défini, mais la forme est tout à fait différente; comment le récepteur fait-il pour intégrer cette fonction et reproduire la parole malgré cette transformation absolue dans le véhicule intermédiaire? Or, dans certains cas, la relation est encore plus compliquée; dans des expériences de M. Mathe, le microphone est placé sur le circuit primaire d'une bobine, les courants induits du courant secondaire passent sur la ligne, sont reçus dans le secondaire

d'une autre bobine, et c'est sur le circuit primaire de celle-ci qu'est placé le récepteur: double induction, le courant reçu au récepteur représente la seconde dérivée de la fonction qui représentait le courant engendré par la parole, et néanmoins celle-ci est reproduite, le récepteur donne l'intégrale double; il y a beaucoup d'exemples de réceptions ainsi opérées par double et même triple induction. » M. Géraldy termine ces considérations, qui nous ont paru devoir être reproduites, en disant qu'il ne connaît pas d'explication rigoureuse de ce fait; que bien des considérations autorisent à penser que ces transformations sont possibles seulement avec des mouvements très petits; que dans ces régions très restreintes il peut subsister des proportionnalités approchées; l'influence retardatrice du noyau de fer des bobines, de celui des aimants, peut être utile et faciliter les relations. On serait ainsi amené à croire que le téléphone, au moins avec ses procédés actuels, n'est pas en état de parler haut, parce que s'il l'essayait il perdrait toute netteté, ce qui semble assez bien d'accord avec les expériences. En résumé, il existe bien des obscurités sur l'explication des phénomènes téléphoniques.

Diagramme du montage d'un poste microtéléphonique avec bobine d'induction. — Avant de passer en revue quelques-uns des types les plus employés de postes microtéléphoniques avec bobines d'induction, nous allons expliquer comment se fait le

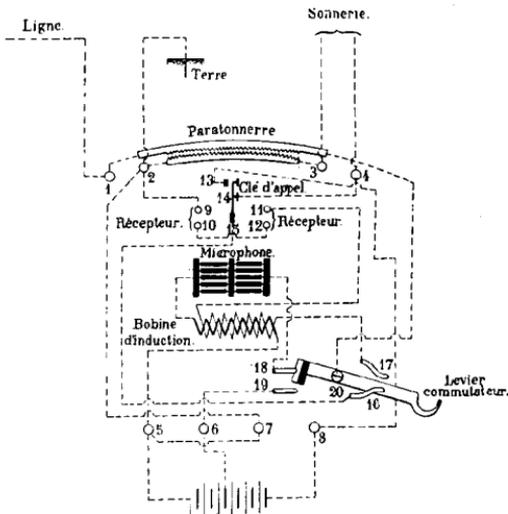


Fig. 11. — Schéma du montage d'un poste microtéléphonique Ader.

montage d'un poste de ce genre; nous prendrons comme exemple un poste Ader et nous supposons que la ligne est à simple fil; les deux postes en correspondance sont montés identiquement de la même façon; la *fig. 11* donne le schéma de ce montage.

Le poste comprend: un microphone, une bobine d'induction, une pile, deux récepteurs téléphoniques, un paratonnerre, une sonnerie, un bouton d'appel, un commutateur automatique. Lorsque le crochet commutateur est abaissé, c'est-à-dire lorsque l'un

des téléphones récepteurs y est suspendu, le poste est sur sonnerie (c'est la position indiquée sur la figure).

La pile est généralement composée de six couples Leclanché. Les trois premiers couples rattachés à l'appareil par les fils aboutissant aux bornes 5 et 6 desservent le microphone et entrent en fonction lorsque le levier commutateur en basculant établit un contact entre les deux ressorts 18 et 19. La pile entière, c'est-à-dire les six couples, servent à envoyer sur la ligne le courant qui actionne la sonnerie du poste correspondant.

Ceci posé, voyons comment fonctionne le poste dans les différents cas.

1^e Supposons que l'on veuille appeler le poste correspondant. Le levier commutateur étant abaissé (position de la figure), on presse sur la clef d'appel (15). On établit ainsi une communication entre 13 et 15, et le courant fourni par la pile entière s'écoule dans

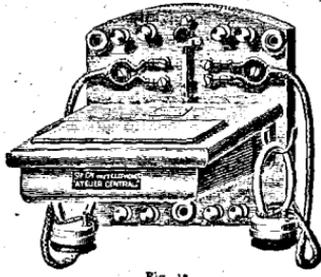


Fig. 11.

la ligne, puisque l'on a un circuit fermé, savoir : Poste appelant : terre, 7, 5, pile, 8, 13, 15, 16, 20, 1, ligne.

Poste appelé : ligne, 1, 20, 16, 15, 14, 4, sonnerie, 3, 2, terre.

2^e Le correspondant appelé par le tintement de sa sonnerie pousse le bouton d'appel de son poste, ce qui fait tinter la sonnerie du poste appelant. Les deux interlocuteurs, s'étant ainsi mutuellement prévenus, décrochent leur téléphone récepteur ; le levier commutateur se relève et les deux ressorts 18 et 19 sont mis en communication. Dès lors le circuit micro-téléphonique est ainsi établi : pile, 6, 49, 18, microphone, circuit inducteur (gros fil) de la bobine d'induction, 5 et pile. Si on parle devant la planchette du microphone les variations d'intensité des courants de ce circuit produites par les vibrations de la plaque du microphone donnent naissance, dans le circuit secondaire de la bobine d'induction (fil fin), à des courants induits correspondant à ces vibrations, et ces courants induits suivent alors le chemin : terre, 2, 9, récepteurs, 9, 10, 12 et 11, circuit secondaire de la bobine d'induction, 17, 20, 1, ligne, et vont actionner le téléphone récepteur que tient à l'oreille la personne qui se trouve au poste correspondant.

Tous les organes que nous venons de décrire et dont nous venons d'indiquer le rôle (à l'exception de la sonnerie et de la pile) sont renfermés dans une boîte formant pupitre, ou fixés à la planchette verticale sur laquelle est boulonnée cette boîte. La fig. 12 donne la vue perspective de l'appareil. On le fixe au mur à une hauteur de 1^m,20 à 1^m,30 à partir du sol, au moyen de trois vis dont les têtes appuient contre des

ronnelles en caoutchouc. On fait aboutir le fil de ligne à la borne supérieure située à gauche du microphone et le fil de terre à la borne placée à côté de la précédente. La sonnerie, qui est indépendante du microphone, se place au-dessus du poste, avec lequel elle est reliée par deux fils aboutissant aux deux bornes supérieures de droite. Le paratonnerre à dents de peigne est placé au-dessus du bouton d'appel sur la tranche de la planchette-applicque. Les téléphones récepteurs sont attachés à l'extrémité de cordons souples à deux conducteurs aboutissant aux quatre bornes placées de chaque côté du bouton d'appel.

Ces téléphones se suspendent aux crochets latéraux ; un seul de ces crochets (celui de droite en regardant l'appareil en face) est mobile et joue le rôle de commutateur ainsi qu'il a été expliqué plus haut.

Autres modèles de postes micro-téléphoniques. — La fig. 13 représente un



Fig. 13.

modèle de poste micro-téléphonique Ader pouvant se placer sur un bureau et relié au fil de ligne par un conducteur souple. Le bouton d'appel de la sonnerie est sur le socle de la colonne.

Les fig. 14 et 15 donnent la vue de deux postes système Maiche, à planchette vibrante verticale ou horizontale. Le microphone Maiche (appelé par l'inventeur *électrophone*) a été décrit au mot MICROPHONE ; nous rappelons seulement que les contacts languettes des charbons sont disposés en quantité, tandis que dans le microphone Ader ces charbons sont disposés deux en tension sur cinq en quantité.

La disposition des charbons en quantité offre certains avantages : le courant qui les parcourt rencontre moins de résistance et cette résistance varie dans de plus grandes limites lorsque les charbons vibrent. On peut aussi augmenter beaucoup l'intensité du courant sans provoquer la formation de petits arcs voltaïques aux points de contact, puisqu'en augmentant le nombre des charbons le courant total se divise en autant de parties qu'il y a de charbons ; il y a, bien entendu, une limite imposée par la faiblesse d'action de la voix sur la planchette, limite que l'on peut reculer dans une certaine proportion en diminuant la masse des charbons au fur et à mesure de l'augmentation de leur nombre. Enfin, dans ce modèle de poste micro-téléphonique les communications sont disposées de telle sorte que les fils fins des bobines

d'induction des deux postes en correspondance, les téléphones récepteurs et la ligne forment un circuit fermé et que la pile, le microphone et le gros fil des bobines forment un deuxième circuit fermé également.

Ajoutons que M. Maïche a intercalé dans le circuit

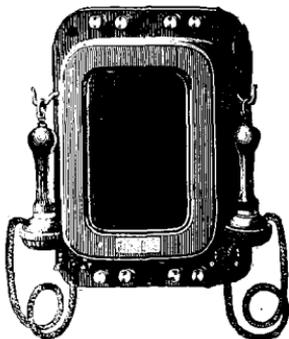


Fig. 14. — Électrophone Maïche.

principale de son électrophone un tremblement semblable à ceux des bobines d'induction ordinaires et qui ne font bonne que lorsqu'on appuie sur le bouton d'appel.

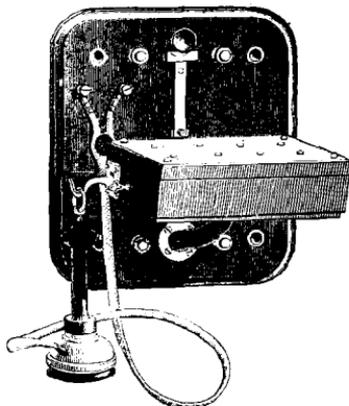


Fig. 15. — Électrophone Maïche.

Les courants d'induction produits font résonner le téléphone avec assez de force pour que l'appel soit entendu à plusieurs mètres. Dans ce dernier cas les téléphones, au lieu d'être dans le même circuit que la ligne et le fil induit des bobines d'induction, sont placés dans le circuit primaire avec la pile et le microphone, de telle sorte que, lorsque le commutateur

automatique est dans la position d'attente, le circuit se compose seulement de la pile, le microphone et des téléphones; on comprend ainsi que les courants d'induction produits par le tremblement dans le fil fin de la bobine de départ circulent dans le fil fin de la bobine d'arrivée et produisent à leur tour d'autres cou-

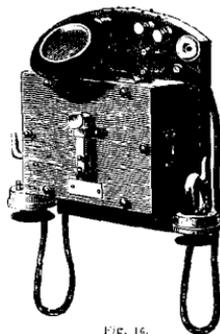


Fig. 16.

rauts d'induction dans le fil primaire de cette dernière, courants qui font résonner les téléphones. M. Maïche donne à ce genre de montage le nom de *montage en reconstitution*.

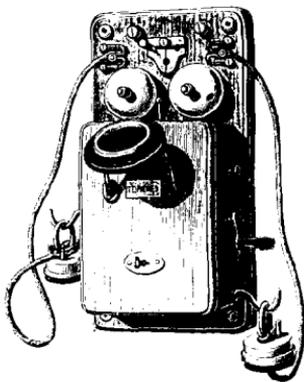


Fig. 17.

La fig. 16 donne la vue d'un poste microtéléphonique comprenant un microphone à poussière (système Berthou) et deux téléphones Ador.

Dans tous les systèmes précédents la sonnerie du poste fonctionne sous l'action d'un courant de pile. On peut remplacer cette sonnerie par une sonnerie magnéto-électrique, bien qu'il s'en emploie très peu.

aussi justifié que dans les postes composés simplement de téléphones magnétiques, puisqu'il faut toujours une pile pour le microphone.

La fig. 17 donne la vue d'un type de poste micro-téléphonique à transmetteur Berthon et à sonnerie magnétique.

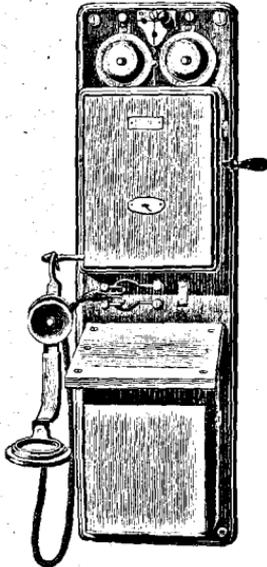


Fig. 18.

pour actionner le microphone (microphone à poussière, système Berthon). Le récepteur est également du système Berthon; il est relié au transmetteur par l'intermédiaire d'une poignée. Un récepteur supplémentaire (système Berthon) peut être fixé à l'appareil (fig. 19).

Postes microtéléphoniques pour les navires. — Des appareils spéciaux sont construits par la Société générale des Téléphones pour la transmission des commandements à bord des navires.

Un poste microtéléphonique à une direction se compose d'une sonnerie, d'un bouton d'appel, d'une bobine d'induction, d'un appareil combiné Berthon-Ader et d'un deuxième récepteur. Tous les organes de ce poste sont construits plus solidement que ceux des postes microtéléphoniques ordinaires; les communications sont établies au moyen de bandes de cuivre; toutes les pièces métalliques sont vernies au four. L'ensemble du poste est fixé dans un abri en fer, dont la soie renferme la pile du microphone; cette pile est composée de deux couples.

Dans les postes à plusieurs directions, chaque direction comprend les mêmes organes distincts: sonnerie, bouton d'appel, etc...; on évite ainsi l'emploi d'un commutateur et par suite toute perte de temps et toute chance d'erreur dans la transmission des or-

dres. De plus, en réduisant au minimum le nombre des points de contact on diminue les causes de dérangement.

Nous donnons encore à titre d'exemple (fig. 18 et 19) la vue extérieure et la vue intérieure d'un poste magnéto-électrique construit par la Société générale des Téléphones pour le nouveau réseau téléphonique de Buenos-Ayres. Il suffit d'un seul couple Leclanché grand modèle à trois plaques et à zinc circulaire

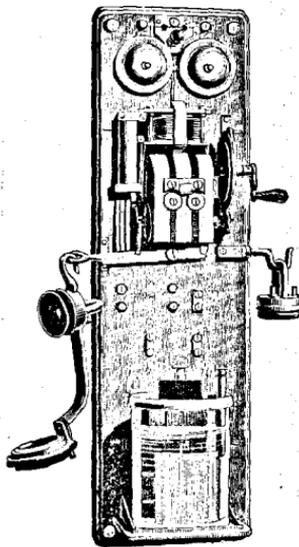


Fig. 19.

La disposition des circuits est telle qu'un câble à quatre conducteurs isolés au caoutchouc et protégés par une armature en fils de cuivre donne pour chaque ligne deux circuits distincts d'appel et de conversation, ce qui dispense d'employer un commutateur automatique. Une pile unique sert pour les appels, quel que soit le nombre des postes. Le crochet de suspension de l'appareil combiné joue seulement le rôle d'interrupteur, pour couper le circuit de la pile du microphone quand on ne parle pas.

Les premières applications de ces appareils ont été faites sur les paquebots de la Compagnie générale transatlantique: la *Normandie*, la *Champagne*, la *Bourgogne*, la *Bretagne*, la *Gasconne*. D'autres installations plus importantes ont été faites sur le cuirassé français *Dévastation* et le cuirassé espagnol *Pelayo*.

Applications de la téléphonie.

Les applications de la téléphonie sont maintenant fort nombreuses; nous citerons les principales.

Application à la correspondance urbaine et interurbaine. — La téléphonie a été installée dans

la plupart des grandes villes pour établir des communications entre les habitants ; on a créé ainsi des réseaux téléphoniques et des bureaux centraux ou stations centrales auxquelles sont reliés les postes microtéléphoniques des abonnés. Les réseaux téléphoniques sont à *simple fil* ou à *double fil*. Dans le premier cas le retour du courant se fait par la terre ; dans le deuxième cas la communication s'établit sur un circuit complètement métallique ; mais de ces deux systèmes le premier est le plus communément employé. On trouvera au mot STATION CENTRALE des détails sur l'organisation de la téléphonie urbaine. On a ensuite relié entre eux les habitants de villes plus ou moins éloignées (V. TÉLÉPHONIE A LONGUE DISTANCE), et on a enfin introduit l'usage des téléphones et des microphones dans le service militaire. (V. TÉLÉPHONIE MILITAIRE.)

Application au service des chemins de fer. —

La téléphonie ne peut remplacer la télégraphie parce que le téléphone ne laisse pas de traces des dépêches transmises et que la vitesse de transmission est inférieure à celle des télégraphes perfectionnés ; mais il est une foule de cas où son emploi peut être précieux, car pour le faire fonctionner il n'est pas besoin d'une éducation télégraphique spéciale. C'est cette considération qui a engagé les administrations de chemins de fer allemands à tenter l'emploi de ce système de correspondance. Voici le compte rendu des résultats obtenus en 1886 :

« Le téléphone est employé dans les chemins de fer allemands soit à titre d'essai, soit à titre définitif par trente-trois compagnies, sur un parcours total de 28.336 kilomètres. Les résultats les plus favorables ont été obtenus sur les lignes secondaires, où cet appareil sert de moyen presque exclusif de correspondance tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des gares. C'est le cas notamment sur les lignes peu étendues, où l'exploitation est facile et où il n'y a généralement pas de croisements de trains. Sur certaines lignes plus importantes, où la sécurité du service a exigé l'emploi simultané du télégraphe électro-magnétique et du téléphone, on a constaté également des résultats si satisfaisants que l'on a quelquefois supprimé le télégraphe. Sur les lignes principales, où il est nécessaire de faire exclusivement usage de communications télégraphiques, on a affecté le téléphone au service inférieur et notamment à la correspondance entre les divers bureaux. Les quelques inconvénients résultant du passage des trains, du bruit des Morse, ont été supprimés par suite de l'affectation de locaux spéciaux au service téléphonique.

« Les communications extérieures ont été limitées à celles qui relient le bureau du chef de gare aux postes centraux d'aiguilles et de signaux et aux baraquements des aiguilliers commandant l'entrée en gare. Outre les dérangements mentionnés ci-dessus, on a constaté l'influence nuisible des courants d'induction provenant d'autres fils fixés aux mêmes poteaux que les lignes téléphoniques. Pour y remédier on a fait usage pour ces derniers de poteaux spéciaux ou de lignes souterraines ou encore de lignes aériennes doubles. Ce système a été surtout très utile pour supprimer le retour par le fil de terre des courants de fils servant au Morse.

« Pour le moment on ne peut appliquer le téléphone dans de plus vastes proportions à l'exploitation des lignes principales, parce que les essais de correspondance n'ont pas encore été assez nombreux. Il y a un inconvénient qui entre notamment en ligne de compte, c'est qu'en cas d'irrégularité ou d'accident il est difficile de trouver le coupable et que

l'on n'a quelquefois aucun moyen de contrôler ni de modifier une fausse manœuvre. On a essayé d'y remédier par la tenue de procès-verbaux, sur lesquels les dépêches sont inscrites au départ et à l'arrivée ; ces dépêches doivent être collationnées par l'employé qui les reçoit. Ce système un peu long devra être encore continué pendant un certain temps avant que l'on puisse le considérer comme entièrement sûr.

« Nous mentionnerons encore tout spécialement les essais d'emploi du téléphone en pleine voie. Il y a plusieurs années qu'on a intercalé des téléphones sur les lignes destinées aux signaux de cloches, ce qui a permis aux gardes-barrières de correspondre entre eux ainsi qu'avec les gares voisines. On a récemment essayé de remplacer les Morse des trains par des téléphones, dont on s'est servi, notamment pendant les tempêtes de neige, avec beaucoup plus de facilité et de rapidité que des appareils autrefois en usage dans les mêmes cas.

« Les résultats obtenus sur les grandes lignes ne sont donc pas suffisants pour qu'on adopte exclusivement le téléphone ; mais avec les immenses progrès accomplis tous les jours par l'électricité, on est en droit d'espérer que l'on trouvera une solution permettant de l'appliquer sur une plus large échelle. »

Nous ajouterons qu'en France le téléphone est exclusivement employé comme moyen de correspondance entre les gares de plusieurs lignes secondaires.

Application à la correspondance dans les mines.

— L'emploi du téléphone dans les mines permettrait de limiter dans certains cas les conséquences des explosions dues à l'inflammation des mélanges détonants, en indiquant la nature et l'étendue du mal. Que des mineurs soient pris par un éboulement dans une galerie et séparés de leurs camarades, on sera-t-il pas plus facile de travailler à leur délivrance si l'on peut échanger avec eux des communications suivies, connaître exactement leur situation, leur faire savoir qu'on vient à leur secours ? C'est là un sujet d'études qui se recommande aux ingénieurs des mines.

Application au service des sapeurs-pompiers.

— La téléphonie joue un rôle important dans le service des sapeurs-pompiers. En cas d'incendie il est essentiel d'appeler le secours immédiatement. Aussi dans certaines villes a-t-on établi des postes téléphoniques d'alarme à la disposition du public en relation avec les corps de garde de sapeurs-pompiers ; dans d'autres localités les officiers du corps des sapeurs-pompiers sont reliés directement ou indirectement par une station centrale.

Dans les villes pourvues d'un réseau téléphonique les abonnés peuvent immédiatement appeler au secours ; mais dans le cas où il n'existe pas de service de nuit il faut des arrangements spéciaux. Les fils de tous les abonnés qui désirent pouvoir appeler au secours pendant la nuit doivent être réunis sur une ligne métallique à laquelle est également attaché le fil allant au poste de garde des sapeurs-pompiers. De plus, la station de l'abonné doit être munie d'un interrupteur permettant de couper la communication avec la terre. Les abonnés ont alors, à la fin du service de jour, à interrompre la terre. La station centrale s'assure si l'abonné n'a pas oublié de se mettre dans cette position. Tout abonné qui ne s'est pas exclu de la terre n'est pas mis en communication avec la ligne métallique et ne peut pas se servir de son téléphone pendant la nuit. Si l'un quelconque de ces abonnés veut appeler le poste de garde, il n'a qu'à rétablir la communication avec la terre et à appeler, son courant ne trouvant d'autre chemin que vers le poste de garde.

Application aux auditions théâtrales. — Aux réseaux téléphoniques urbains se rattache la question des *auditions théâtrales*. Il était naturel de se servir du téléphone pour transmettre à distance les paroles et les chants des acteurs jouant sur une scène de théâtre.

Voici la disposition adoptée par M. Ader pour per-

répartir le long de la rampe et les fils partant de chaque transmetteur desservant à la fois un certain nombre de récepteurs placés dans la salle des auditions. Ainsi le circuit du transmetteur T desservait les récepteurs R, R₁, R₂, R₃, etc., que différents auditeurs tenaient à l'une de leurs oreilles, et le transmetteur T' placé en un point différent, mais

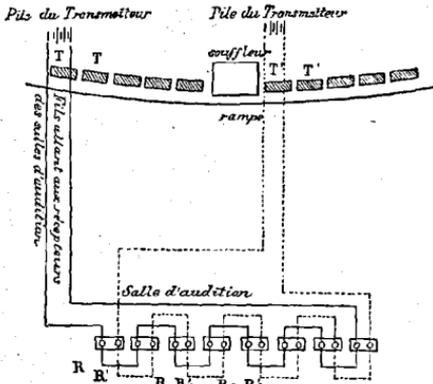


Fig. 20.

mettre aux visiteurs de l'Exposition d'Électricité (Palais de l'Industrie) en 1881 d'entendre les chants et la musique de l'Opéra.

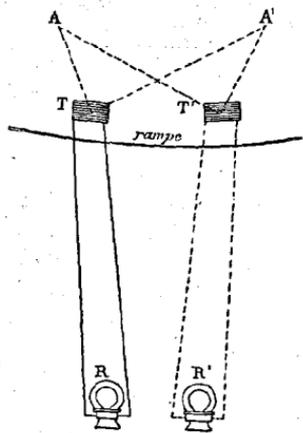


Fig. 21.

La fig. 20 représente une portion de la scène et de la rampe, ainsi que les dispositions d'ensemble de la salle d'audition. Des microphones avaient été

d'intensifié de son répartition plus ou moins également entre ses deux oreilles.

Avec la disposition que nous venons de décrire, chaque appareil Ader placé à l'Opéra nécessitait l'emploi d'une pile Leclanché de trois couples dont on coupait le circuit à chaque acte et que l'on remplaçait pour l'acte suivant. On utilisait donc une batterie de douze à quinze couples par transmetteur. Aujourd'hui trois couples de Lalonde (v. PILE) suffisent; d'où économie de matériel et de main-d'œuvre.

D'autres progrès ont été réalisés depuis 1881, grâce aux perfectionnements introduits dans la fabrication des câbles et des téléphones récepteurs. Ainsi, en 1881 on avait dû poser vingt-quatre câbles à deux conducteurs pour installer quarante-huit téléphones récepteurs, c'est-à-dire pour faire entendre l'opéra à vingt-quatre personnes à la fois. Aujourd'hui, avec deux câbles on arrive au même résultat et l'audition est plus intense.

A ces renseignements donnés à la Société internationale des Electriciens (juillet 1887), M. Caël ajoute qu'un CABLE à quatre fils du système Fortin-Hermann a été établi entre l'Opéra et la Bourse, en vue d'essais de transmissions musicales à Bruxelles; la résistance de chacun des conducteurs n'est que de 6 1/2 ohms, alors que celle des fils employés jusqu'ici dans les expériences d'auditions théâtrales s'élève à 30 ohms. M. Caël espère obtenir ainsi des résultats vraiment pratiques; il pense que les habitants de Bruxelles pourront sans se déranger apprécier avec intérêt les œuvres représentées sur la première scène lyrique de Paris.

TÉLÉPHONIE A LONGUE DISTANCE. — Dès le début de la téléphonie on essaya les appareils sur les LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES de différentes longueurs. La résistance même de la ligne n'est point une

cause sérieuse d'affaiblissement, car en proportionnant convenablement les circuits des téléphones et des bobines d'induction on parvient à obtenir des instruments dont les effets sont peu affaiblis par l'introduction de grandes résistances. Mais on se trouve en présence d'autres difficultés qui, pendant un certain temps, ont empêché de correspondre téléphoniquement à des distances considérables.

Sur les câbles sous-marins ou souterrains, les phénomènes de condensation ne tardent pas, à partir d'une certaine distance, à rendre la transmission confuse. Sur les lignes aériennes, le défaut d'isolement des fils et des supports est une cause importante d'affaiblissement, avec laquelle on ne peut lutter dans la construction du téléphone. La grande sensibilité de cet instrument le rend impressionnable à des effets d'induction dont les télégraphes ordinaires ne subissent pas l'influence, de sorte que le voisinage d'une ligne télégraphique devient, à partir d'une longueur assez faible, une gêne sérieuse.

Le problème de la téléphonie à longue distance est susceptible de plusieurs solutions. On peut se proposer d'employer une ligne télégraphique ordinaire, que l'on affecte spécialement aux transmissions téléphoniques et que l'on dispose de façon à atténuer les conséquences des courants d'induction; on peut se proposer de faire servir une même ligne aux trans-

missions télégraphiques et téléphoniques simultanées; on peut enfin construire des lignes téléphoniques spéciales appropriées à ce genre de communication, c'est-à-dire d'une faible résistance électrique. Nous examinerons les essais tentés dans ces différentes voies.

I. — Dispositions imaginées en vue d'appropriier les lignes télégraphiques ordinaires aux transmissions téléphoniques.

Système de M. le Dr Herz. — En 1881, M. le Dr Herz a combiné des microphones destinés à

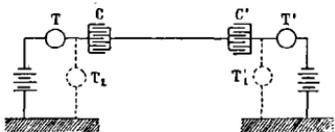


Fig. 1. — Système de M. le Dr Herz.

augmenter l'amplitude des vibrations électriques et il a également fait usage de condensateurs et de dif-

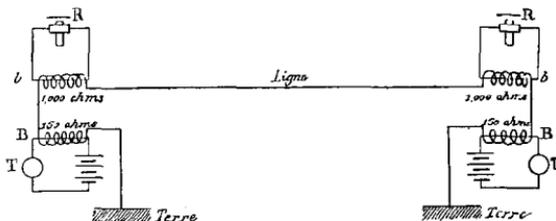


Fig. 2. — Système de M. Maiche.

fuseurs dans le but de diminuer l'induction. Ces appareils, dont on trouvera la description dans le journal *la Lumière électrique*, furent essayés à grande distance; mais les expériences, bien qu'ayant donné des résultats satisfaisants, d'après les comptes rendus publiés, n'ont pas été suivies d'applications pratiques. M. Herz avait pensé éteindre les bruits d'induction en empêchant les courants étrangers à ceux directement transmis de passer à travers le circuit téléphonique, et il interposait, à cet effet, entre son microphone transmetteur et le fil de ligne un condensateur, et entre le téléphone récepteur et la terre un diffuseur. Le condensateur est un appareil composé de feuilles d'étain superposées et séparées les unes des autres par des feuilles de papier. Toutes les feuilles d'ordre pair et toutes les feuilles d'ordre impair sont respectivement réunies entre elles et à deux bornes qui constituent les deux pôles du condensateur. Quant au diffuseur, c'est une sorte de paratonnerre à cardes.

La fig. 1 donne le schéma du montage. T et T' sont des transmetteurs d'une construction spéciale, imaginée par M. Herz. Dans les essais qu'il a faits de ce système, il a placé les transmetteurs tantôt sur la ligne en T, T', tantôt en dérivation en T₁ et T₁'. C et C' sont les condensateurs.

Malheureusement, l'intercalation des condensateurs

et des paratonnerres à cardes dans le circuit téléphonique affaiblit dans une mesure assez grande l'intensité des courants transmis. On peut empêcher néanmoins, dans une limite restreinte, les effets de certains courants anormaux et accidentels. En résumé, on affaiblit un peu les bruits d'induction; mais, comme d'un autre côté on affaiblit beaucoup le son des paroles, il en résulte que, tout compte fait, on n'améliore pas sensiblement les conditions de la transmission.

Dans les expériences dont il vient d'être parlé, M. Herz a employé aussi comme récepteurs des condensateurs dont les armatures étaient polarisées préventivement et d'une manière continue, ce qui est d'ailleurs une condition essentielle pour que le condensateur puisse émettre des sons articulés. Avec les transmetteurs et les récepteurs Herz on a pu converser d'Orléans à Bordeaux, c'est-à-dire à 456 kilomètres. On a pu également entendre quelques phrases détachées à 1,000 kilomètres, mais il fallait le silence absolu de la nuit et la cessation complète des transmissions télégraphiques dans les fils voisins.

Système de M. Maiche. — Dans le système proposé par M. Maiche, les bruits d'induction seraient évités par l'interposition dans le circuit d'une seconde bobine d'induction b (fig. 2) de très haute

résistance (1.000 ohms), dont le fil primaire deviendrait le fil induit. C'est sur le circuit de ce fil qu'il place son récepteur R.

L'induction se trouve ainsi considérablement réduite. T, T sont les transmetteurs microphoniques, et B des bobines d'induction ordinaires de 150 ohms.

Système de M. Dunand. — M. Dunand a pro-

posé l'emploi comme récepteurs de CONDENSATEURS CHANTANTS polarisés par une forte pile placée dans le circuit et susceptibles, par suite, d'articuler des sons. Mais l'intensité des sons émis par ces récepteurs est moins grande qu'avec des récepteurs magnétiques ordinaires.

La fig. 3 donne le schéma d'une communication téléphonique établie suivant ce système. T, T sont les

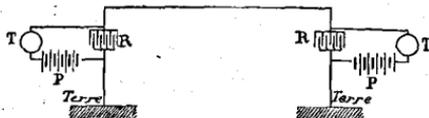


Fig. 3. — Système de M. Dunand.

transmetteurs, R, R les condensateurs-récepteurs et P, P la pile composée de dix couples Leclanché.

Système de M. Dolbear. — M. Dolbear a employé aussi des condensateurs comme récepteurs, mais son dispositif est fort simple. Chaque récepteur R et R' (fig. 4) se compose de deux diaphragmes

isolés l'un de l'autre par une couche d'air. L'un des diaphragmes est à la terre, l'autre à la ligne. Une bobine d'induction B de 1.000 à 5.000 ohms de résistance, suivant les cas, et un transmetteur ordinaire quelconque à pile sont interposés dans le circuit.

Malheureusement, si par cette disposition on di-

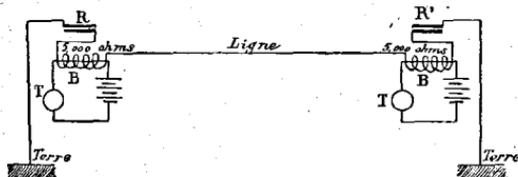


Fig. 4. — Système de M. Dolbear.

minue beaucoup les bruits d'induction, c'est au détriment de l'intensité des sons émis par les récepteurs R et R'.

Système de M. Brassier. — M. Brassier s'est proposé de détruire les bruits d'induction et de

réduire en même temps la résistance de la ligne au quart de ce qu'elle est dans les circuits entièrement métalliques. La fig. 5 donne le schéma des communications de deux postes en correspondance. On voit que le circuit métallique se compose d'un double conducteur; les bobines d'induction et les bobines

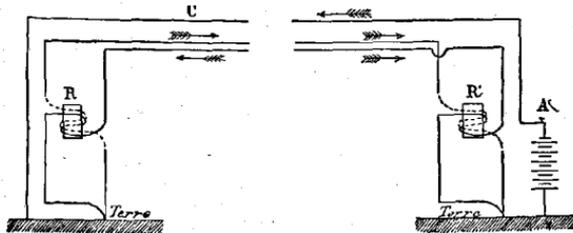


Fig. 5. — Système de M. Brassier.

des récepteurs R et R' comportent un double fil enroulé dont les extrémités aboutissent à la fois à la terre et aux deux conducteurs formant la ligne. On remarquera que dans la bobine du téléphone récepteur R les courants sont de même sens et qu'il en est de même dans la bobine du récepteur R' où les

courants s'ajoutent. Il en résulte que l'action du fil voisin C, dans lequel circule, par hypothèse, un courant énergétique comme celui d'un appareil télégraphique A, produisant dans les deux fils de ligne des courants de même sens, ces courants seront de sens contraire dans la bobine du récepteur et s'y annu-

leront. L'emploi de la terre et des deux fils réduit la résistance au quart de ce qu'elle serait dans le cas d'un circuit métallique complet.

II. — Téléphonie et télégraphie simultanées.

La construction de lignes téléphoniques spéciales ou l'affectation d'une ligne télégraphique au service de la téléphonie coûtant fort cher lorsqu'il s'agit de faire communiquer des localités éloignées, on a cherché non seulement à utiliser pour les communications téléphoniques à longue distance les lignes télégraphiques existantes dans les périodes de non activité télégraphique, mais encore à s'en servir simultanément pour la téléphonie et la télégraphie.

Nous décrirons le système proposé à cet effet par

M. Maïche, celui imaginé par M. Tommasi et enfin le système de M. Van Rysselberghe, qui a reçu de nombreuses applications.

Système de M. Maïche. — Il consiste, étant donné deux postes télégraphiques ordinaires réunis par deux fils, à se servir de l'un de ces deux fils pour le téléphone et tout en laissant ces deux fils disponibles pour l'échange des TÉLÉGRAMMES.

Pour arriver à ce résultat, il faut placer dans chacun des postes une bobine que M. Maïche appelle *bobine de reconstitution*. Cette bobine est recouverte de trois fils distincts f , f' et f'' , enroulés ensemble, de sorte que les spires conservent leurs distances respectives (fig. 6).

L'un des fils télégraphiques L est relié dans chaque poste avec l'un des fils de la bobine, le fil f par exemple; l'autre fil télégraphique L' est, de même,

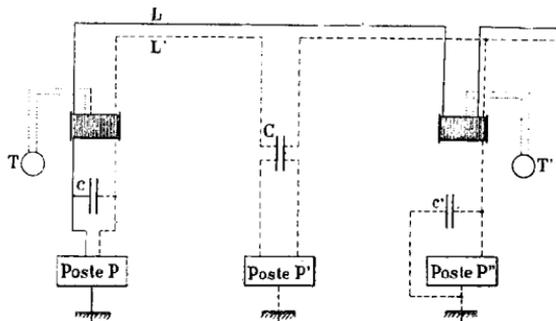


Fig. 6. — Système de téléphonie et de télégraphie simultanées de M. Maïche.

relié avec le fil f' de chaque bobine. Mais la relation est établie de telle sorte que chaque fois qu'un courant télégraphique est envoyé, par exemple, du poste 1 au poste 2 par le fil f , ce courant circule dans la bobine de chaque poste dans un sens opposé à celui où circulerait le courant s'il avait été envoyé par le poste 1, mais en se servant du fil L' et vice versa. Quant au troisième fil f'' de chaque bobine, il est relié par ses deux extrémités avec l'appareil téléphonique.

On place de plus entre les postes télégraphiques et les fils de ligne L et L' , en dérivation sur ces fils, des condensateurs qui ont pour but d'empêcher les courants télégraphiques d'aller d'une ligne sur l'autre.

Il résulte de cette disposition que, lorsqu'on télégraphie, rien n'est changé aux conditions ordinaires de la transmission, et que, lorsqu'on se sert du téléphone, le courant téléphonique, arrivant dans le troisième fil f'' de la bobine de reconstitution de départ, produit dans les deux autres fils f et f' des courants induits de sens contraire, qui forment un circuit fermé avec les deux fils de ligne L et L' et les deux fils f et f' de la bobine de reconstitution d'arrivée. Ces deux derniers fils f et f' , étant enroulés en sens contraire l'un de l'autre et étant parcourus chacun par un courant de sens contraire également, déterminent dans le troi-

sème fil f'' un courant induit qui actionne l'appareil téléphonique au poste d'arrivée. On comprend ainsi pourquoi M. Maïche a donné le nom de *bobine de reconstitution* à son appareil.

Cette méthode est ingénieuse; elle permet de mettre en communication deux postes télégraphiques éloignés, réunis par un fil direct et par un fil omnibus; il suffit de placer dans chaque poste intermédiaire desservi par le fil omnibus un condensateur en dérivation qui empêche totalement les courants télégraphiques envoyés de ces stations intermédiaires ou reçus par elles de suivre un chemin anormal et qui n'arrête pas les courants ondulatoires téléphoniques. Ainsi, le schéma ci-dessus donne la disposition prise pour mettre en relation télégraphique et téléphonique deux postes P et P'' reliés par un fil direct L et par un fil omnibus L' . La station intermédiaire P' , desservie seulement par le fil omnibus, est munie d'un condensateur C jouant le rôle indiqué plus haut.

Système de M. Tommasi. — M. Tommasi a cherché à résoudre le problème de la télégraphie et de la téléphonie simultanées en affaiblissant les courants télégraphiques assez pour qu'ils ne puissent pas influencer le téléphone. Il a donc construit un relais très sensible, composé d'une AIGUILLE AIMANTÉE oscillant entre quatre SOULÈVES. Le courant de la ligne

parcourt ces solénoïdes et l'action sur l'aiguille est quadruplée. A l'aide de ce relais on ferme le circuit d'une PILE LOCALE. Pour téléphoner et télégraphier simultanément, M. Tommasi relie le téléphone au fil télégraphique à travers un condensateur et intercale dans ce fil une RÉSISTANCE auxiliaire huit fois plus grande que celle de la ligne.

Système de M. Van Ryselberghe. — M. Van Ryselberghe a cherché à résoudre le problème en empêchant l'induction de naître, en étouffant sur les lignes où elle se produit. Il devient alors possible de transmettre simultanément sur le même fil des dépêches télégraphiques et téléphoniques.

Voici une note intéressante qui nous a été remise par M. Mourlon, concessionnaire des appareils Van Ryselberghe :

« Tout le système repose sur le principe suivant : *Lorsqu'on supprime la brusquerie des émissions et des extinctions des courants, ceux-ci deviennent inaudibles au téléphone.* Aux courants brusquement émis et

brusquement interrompus M. Van Ryselberghe substitue pour le télégraphe des courants gradués, c'est-à-dire des courants qui vont crescendo en commençant et décroissent en finissant. Cette gradation, qui a lieu dans un laps de temps inappréciable, s'obtient par l'intercalation dans le circuit de petits électro-aimants *graduateurs*, ou encore en mettant sur la ligne des condensateurs faisant l'office de *dérivateurs*, ou enfin, si l'on veut obtenir des résultats plus parfaits, en combinant des électro-aimants avec des condensateurs.

« Condensateurs et électro-aimants agissent ici comme réservoirs d'électricité absorbant une certaine quantité de courant, quantité qu'ils restituent à la rupture du circuit.

« Pour bien comprendre le fonctionnement de ces appareils, servons-nous d'une comparaison donnée par l'inventeur : ces électro-aimants et ces condensateurs sont à l'égard des courants électriques ce que sont les réservoirs à air dans les pompes à incendie ; ce sont des poches qui se remplissent et qui se vident

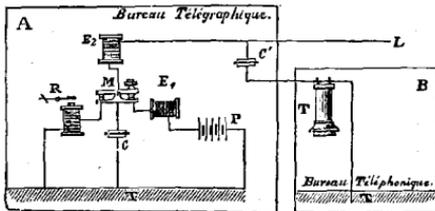


Fig. 7.

graduellement, enlevant ainsi toute brusquerie dans les changements de pression électrique.

« Sous l'influence de courants gradués de cette façon la membrane du téléphone fléchit bien encore, mais elle ne vibre plus : dès lors elle ne donne plus de son au passage du courant télégraphique.

« En d'autres termes, les courants télégraphiques deviennent complètement silencieux, inaudibles, qu'ils soient directs, induits ou dérivés.

« En appliquant à tous les télégraphes, d'une manière générale, l'invention de M. Van Ryselberghe, on pourra non seulement organiser la téléphonie de ville à ville par des fils attachés aux mêmes poteaux que les fils télégraphiques, mais utiliser ceux-ci eux-mêmes pour la téléphonie ; ceci, bien entendu, en complétant le système anti-inducteur par une autre catégorie d'appareils qui constituent l'une des parties les plus intéressantes de l'invention de l'électricien belge. En effet, par l'application de cet ingénieux dispositif, l'indépendance des deux services est assurée, et d'autres termes on établit entre la ligne télégraphique et l'embranchement téléphonique une séparation telle que non seulement elle livre passage aux courants rapides ondulatoires et peu intenses de la téléphonie, mais elle barre le passage aux courants du télégraphe, qui sont de nature essentiellement différente.

« C'est pourquoi il suffit d'un condensateur de faible CAPACITÉ pour barrer le passage aux courants du télégraphe, tout en transmettant intégralement les courants ondulatoires de la téléphonie.

« On voit que le système Van Ryselberghe est sur-

tout remarquable par sa grande simplicité, et que son opportunité est d'autant plus grande que tout service téléphonique, pour être parfait, nécessite, pour un nombre donné de communications à établir, deux fois plus de fils que n'en exigeait le télégraphe.

« En effet, un réseau parfait exige pour chaque communication verbale un circuit métallique complet avec un fil de retour, et cela à cause de l'induction téléphonique que l'on constate dans tous les réseaux à fil simple et qui ne peut être combattue efficacement que par l'emploi du double fil. Pour compléter sa méthode, M. Van Ryselberghe avait donc à imaginer un dispositif qui permit l'accouplement de deux fils télégraphiques, de telle façon que, tout en restant distincts au point de vue du télégraphe et tout en fournissant à celui-ci deux communications indépendantes, les deux fils ne forment pourtant qu'un seul circuit téléphonique complet. En outre, le double fil ne détruit complètement les effets de l'induction téléphonique qu'à la condition de former, par rapport à l'ensemble de tous les autres fils, un système absolument asymétrique, et cette condition théorique étant rarement satisfaite dans l'état actuel des réseaux, le dispositif à imaginer devait remédier à ces défauts de symétrie. »

Les figures schématiques (fig. 7 et 8) donnent une idée générale du système.

M représente le manipulateur et R le récepteur d'un appareil télégraphique quelconque, P la pile (fig. 7). E₁ et E₂ sont deux électro-aimants graduateurs, placés, le premier entre la pile et le manipulateur, le second entre le manipulateur et la ligne L ; enfin,

C est un condensateur-gradateur placé en dérivation sur la ligne entre les deux électro-aimants. Un condensateur C' de faible capacité est relié, d'une part, à la ligne, d'autre part, à un poste téléphonique quel-

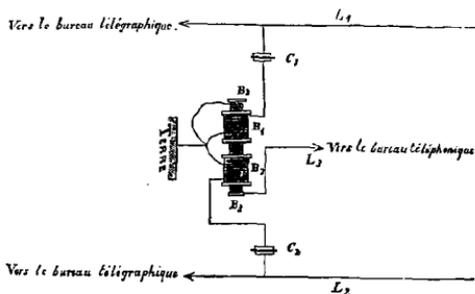


Fig. 8.

conque T. Moyennant cette disposition, le bureau télégraphique A et le bureau téléphonique B pourront employer simultanément le même fil sans gêne réciproque, avec une entière indépendance et sans que les

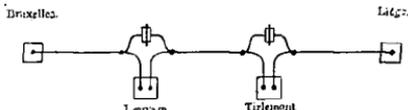


Fig. 9.

opérateurs du télégraphe aient à se préoccuper en rien des agissements ou conversations des agents du téléphone.

La fig. 8 représente le dispositif pour l'accouplement de deux fils télégraphiques distincts L_1 et L_2 en un circuit téléphonique complet.

C_1 et C_2 sont deux condensateurs de faible capacité. B_1 et B_2 deux bobines différentielles induisant une troisième bobine B_3 ; l'une des extrémités de chacune de ces bobines communique avec la terre. B_4 communique, en outre, avec la ligne télégraphique L_1 ; B_2 avec la ligne L_2 ; B_3 avec la ligne L_2 qui se dirige vers le bureau central des téléphones.

Il est clair que les fils L_1 et L_2 sont à desservir par des télégraphes munis des dispositions anti-inductrices, comme celles indiquées à la fig. 7.

Nous ajouterons que, dans certains cas, il peut y avoir intérêt à former le circuit téléphonique avec un fil desservant plusieurs bureaux, par exemple Bruxelles, Louvain, Tirlemont et Liège (fig. 9) au lieu d'un fil reliant directement les deux postes extrêmes.

Le courant télégraphique de Bruxelles, par exemple, ne saurait dépasser Louvain, à cause du condensateur connecteur, et n'a pas d'action perceptible sur le téléphone, attendu que ce courant est gradué. D'autre part, le courant téléphonique de Bruxelles arrive, par l'intermédiaire de plusieurs connecteurs, jusqu'au poste téléphonique de Liège, sans se dériver aux bureaux de Louvain et de Tirlemont, par la raison que, là, les appareils télégraphiques interposés entre la ligne et la terre offrent une résistance bien supérieure à 500 ohms, ce qui est, pour l'utilisation du système Van Rysselberghe, une condition déterminée par l'expérience.

On comprend que par une combinaison analogue, on parviendrait à faire participer à la téléphonie à

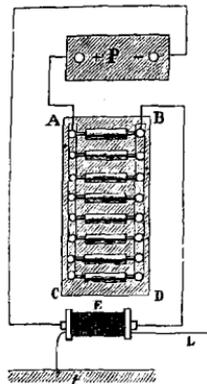


Fig. 10.

longue distance des localités situées en dehors des grandes lignes d'un réseau, même si elles ne disposaient, pour leur service propre, d'aucun fil direct

vers les postes auxquels il s'agirait de les relier téléphoniquement.

M. Van Rysselberghe emploie des MICROPHONES à contacts multiples et dont les charbons sont montés en quantité.

Dans la fig. 10, P représente un ACCUMULATEUR

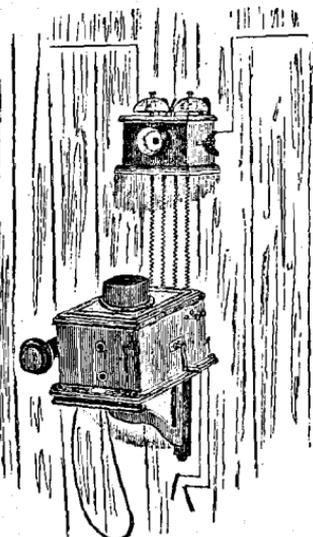


Fig. 10. — Vue d'un Poste téléphonique du système Van Rysselberghe, avec un Appel magnétique.

Planté ou une pile à grande surface et de faible résistance intérieure, ABCD le microphone qui se compose de huit petits crayons de charbon; la résistance

totale de ce microphone ne dépasse pas 2 ohms; E est une bobine d'induction établie de façon à ne donner que très peu de résistance au circuit primaire.

La fig. 11 représente la vue perspective du poste microtéléphonique; l'appel se fait à l'aide de SONNERIES MAGNÉTIQUES.

Les premiers brevets belges de M. Van Rysselberghe datent du 20 février 1882. En avril de la même année, un essai couronné de succès eut lieu entre Bruxelles et Anvers, en utilisant le fil de la ligne souterraine d'Anvers sur une longueur de 1.150 mètres de câble et 88 kilomètres de fil aérien. Le 16 mai, on essaya de correspondre de Bruxelles à Paris (335 kilomètres); cette expérience réussit également bien. Le 9 juin 1882, au moyen du téléphone placé à Douvres sur le fil, à la sortie même du câble, de façon à pouvoir neutraliser les influences nuisibles du réseau aérien vers Londres, on a parfaitement compris toute une communication transmise d'Ostende, aussi bien que de Bruxelles. La parole franchissait ainsi pour la première fois une distance de 125 kilomètres de fils aériens et 100 kilomètres environ de câble sous-marin.

Après des essais faits en Belgique, en France et en Angleterre, la Hollande voulut aussi expérimenter le système. Des installations définitives furent établies entre Amsterdam et Haarlem, de façon à permettre aux STATIONS CENTRALES téléphoniques de ces deux villes de communiquer entre elles par téléphone, en utilisant les fils du réseau télégraphique de l'Etat.

Une autre expérience fort importante a été faite le 7 octobre 1882. Trois personnes, placées respectivement à l'observatoire de Bruxelles, à Ostende et à Anvers, ont pu engager des conversations entre elles par un seul fil placé sur les poteaux télégraphiques de l'Etat.

Quelque temps après, un service régulier fut établi, à Bruxelles, entre la Chambre des représentants et les bureaux du journal *la Flandre libérale*, à Gand, afin de transmettre téléphoniquement les comptes rendus des séances parlementaires, les cotes de la Bourse, etc., en se servant du fil aérien placé sur les poteaux télégraphiques de l'Etat entre Bruxelles et Ostende, et qui relie les appareils TÉLÉTRÉOONOGRAPHES inventés également par M. Van Rysselberghe et placés aux deux observatoires d'Ostende et de Bruxelles.

Le système Van Rysselberghe a été appliqué en

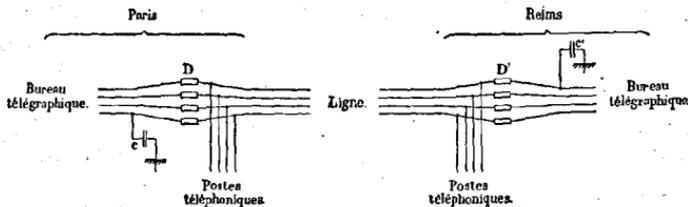


Fig. 12.

D et D'. Dérivateurs. — C. Condensateur placé à chaque dérivateur. (Un seul est représenté à chaque poste, dans le croquis ci-dessus.)

Belgique, en France, en Allemagne, en Autriche et en Suisse. Nous allons donner quelques détails sur certaines de ces applications.

Application entre Paris et Reims. — C'est la première application faite en France.

On s'est servi des quatre fils télégraphiques aériens

existants entre ces deux villes, et on a constitué ainsi deux circuits à double fil.

Les deux postes téléphoniques de Paris sont placés à la Bourse. A Paris, comme à Reims, les fils qui aboutissent aux cabines téléphoniques sont placés en dérivation sur les fils de la ligne télégraphique (fig. 12).

Entre ces dérivations et les bureaux télégraphiques on a posé sur chaque fil un *dérivateur* ou *graduateur*, afin de rendre les courants télégraphiques inaudibles aux téléphones. De plus, on a intercalé entre chaque pile télégraphique et l'appareil qu'elle dessert un électro-aimant graduable de 500 ohms de résistance. Si l'appareil télégraphique est un Hughes, on place, en outre de cet électro-aimant, une bobine de 250 ohms sur la dérivation à la terre par la palette.

Chaque dérivateur se compose essentiellement d'un électro-aimant graduable de 500 ohms de résistance et d'un condensateur de 2 MICROFARADS contenus dans la même boîte (fig. 43).

Le fil venant du poste télégraphique extrême est relié à la borne B. Les courants télégraphiques traversent l'électro-aimant et subissent l'influence retardatrice de l'EXTRA-COURANT de fermeture; au même moment le condensateur C, qui est relié à la ligne avant son entrée dans la bobine, se charge d'une certaine quantité d'électricité au détriment de l'intensité propre du courant. Ces deux effets contribuent à *arrondir* le commencement des émissions. A la fin de celles-ci l'extra-courant de rupture serait très bien

entendu dans le téléphone si le condensateur, en se déchargeant, ne prolongeait alors la durée du courant en arrondissant aussi la fin des émissions.

Dans ces conditions, une dérivation prise à la sortie de l'appareil et correspondant à un téléphone ne donnera lieu dans celui-ci à aucun bruit dénotant le passage des courants télégraphiques. Mais cette dérivation constituant une *perte à la terre* dans le cas d'un seul fil, et un *mélange* dans le cas de deux fils, empêcherait le télégraphe de fonctionner. On y a remédié en séparant le circuit téléphonique du fil télégraphique par un condensateur. Si cet appareil avait une grande capacité, il nuirait aux transmissions télégraphiques; aussi lui a-t-on donné une capacité d'un demi-microfarad seulement.

Une difficulté se présentait encore: comment appeler d'un poste téléphonique à l'autre, puisque les courants directs servant d'ordinaire à faire marcher les sonneries d'appel ne pouvaient passer, par suite de l'intercalation des condensateurs cités plus haut, entre les appareils téléphoniques et la ligne? La difficulté a été résolue par l'APPREI, nous pourrions dire l'idée a été suggérée par M. Sieur. L'appareil se compose

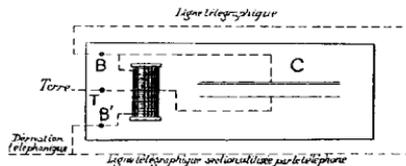


Fig. 43.

essentiellement d'un téléphone récepteur sur la plaque duquel repose un petit marteau analogue au jockey du vibreur Sieur ou d'Elisba Gray; une pile constante est intercalée dans deux circuits continuellement fermés, dont l'un se compose de la pile, du marteau et de la plaque du récepteur téléphonique, et l'autre de la pile et de la sonnerie. Le premier circuit n'a pratiquement aucune résistance extérieure, et le courant passe presque entièrement dans cette direction; mais si le diaphragme vibre sous l'action de courants ondulatoires, le contact devient incertain et offre au courant une résistance suffisante pour faire passer sur la sonnerie un courant sous l'action duquel cette sonnerie fonctionne. Le grand inconvénient du système est la fermeture continue de la pile sur un circuit sans résistance extérieure. M. Rothen, directeur adjoint des Télégraphes suisses, a cherché à supprimer l'appel phonique et l'a avantageusement remplacé par un *clapet de fin de conversation* (*clearing-out relay*) plus sensible que celui-ci et fonctionnant sans pile locale. On peut régler ce clapet de façon que sa chute résulte du passage d'un courant télégraphique gradué dans un fil voisin.

Application entre Paris et Bruxelles. — Le système Van Bysselbergha a été appliqué entre Paris et Bruxelles le 29 janvier 1887. La ligne se compose, dans la traversée de Paris (de la Bourse à la porte de la Chapelle), d'un CABLE sous plomb, système Fortin-Hermann, formé de cinq brins offrant une résistance de 12 ohms par kilomètre et une capacité de 6,04 microfarad; de la sortie de Paris au palais de la Bourse, à Bruxelles, d'une ligne aérienne spéciale d'une longueur de 320 kilomètres. Cette ligne est faite, d'un double conducteur en bronze sticieux de 3 millimè-

tres de diamètre, présentant une conductibilité de 2,4 ohms par kilomètre et donnant comme résistance totale du circuit 1.560 ohms seulement. La résistance mécanique est de 45 kilogrammes par millimètre carré; le poids est de 63 kilogrammes par kilomètre.

La ligne est fixée sur les mêmes poteaux que les fils télégraphiques, mais elle est disposée de façon à empêcher les phénomènes d'induction. En effet, les courants d'induction produits dans les deux brins du circuit sont de même sens pour chaque brin et, par suite, de sens contraire si l'on considère l'ensemble du circuit; ils s'annulent donc en partie, mais non complètement, car les deux brins n'étant pas à la même distance du fil télégraphique, les courants induits qui s'y développent n'ont pas la même intensité. Pour détruire cette différence on a croisé les brins du conducteur à chaque poteau télégraphique, en sorte que d'un intervalle compris entre deux poteaux consécutifs à l'intervalle suivant il y a un échange de position entre les deux brins du conducteur relativement à chacun des fils télégraphiques montés sur ces mêmes poteaux, et par suite annulation des courants d'induction.

Cette ligne spéciale, établie pour le service téléphonique seul, a été utilisée aussi pour les relations télégraphiques. En dehors de son rôle comme circuit téléphonique entièrement métallique, chacun des fils sert à une communication télégraphique distincte avec retour par la terre.

Voici les dispositions spéciales prises à Paris pour mettre la ligne en communication avec les abonnés du réseau urbain. (*Communication faite en mai 1887 à la Société internationale des Electriciens par M. de La Touanne.*)

« La communication aux abonnés du réseau urbain devant être donnée, au moins jusqu'à nouvel ordre, par l'intermédiaire du bureau de la Société générale des Téléphones situé avenue de l'Opéra, on a relié par un câble téléphonique ce bureau et le poste de la Bourse. Les liaisons, dans les postes intermédiaires, sont établies directement, sans aucune dérivation. Il est cependant nécessaire de pouvoir indiquer la fin d'une conversation; mais, comme les fils interurbains sont aménagés suivant le système Van Rysselberghe, les fils constituant la dérivation téléphonique aboutissent à un condensateur; on ne peut donc employer un courant permanent pour donner un signal. Une solution du problème consisterait à installer chez chaque abonné désirant correspondre avec Bruxelles une bobine de Ruhmkorff, comme cela se fait à la Bourse; mais on a reconnu qu'il était préfé-

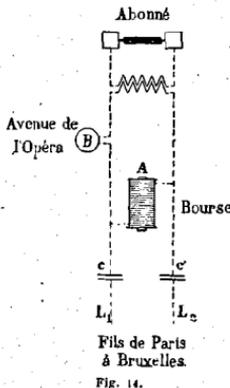


Fig. 14.

table de ne pas modifier le mode de rappel actuel et on s'est arrêté au parti suivant.

On sait que, par suite des extra-courants qui se développent dans un électro-aimant au moment où varie l'intensité d'un courant qui le parcourt, il peut offrir au passage des courants téléphoniques une résistance active bien supérieure à sa résistance réelle. On pensa qu'en mettant un électro-aimant convenable A (fig. 14) en dérivation, on lui ferait jouer le rôle d'annonciateur fermant le circuit parisien, tandis que la résistance ainsi offerte par la SELF-INDUCTION de cet électro-aimant téléphonique serait insuffisante pour diminuer d'une manière appréciable la transmission de la voix de Paris à Bruxelles. L'expérience a confirmé ces prévisions; mais il restait, pour compléter le système, à trouver un moyen d'avertir les bureaux de quartier et celui de l'avenue de l'Opéra de la fin de la communication, puisqu'il n'y avait pas d'annonciateurs en dérivation.

On intercala, à cet effet, dans le circuit, un relais de très faible résistance, sans noyau de fer doux B. Ce relais, construit par M. Ader, est formé d'une galette de fil, mobile, fixée à l'extrémité d'un pendule dans le champ d'un aimant permanent. Le courant continu envoyé par l'abonné à la fin de sa conversation déplace la galette de fil d'une certaine quantité et produit l'effet voulu. L'expérience a permis de constater que l'introduction du relais B n'avait aucun effet

appréciable sur la transmission de la parole et que son fonctionnement était très sûr. Grâce à l'existence d'un relais avenue de l'Opéra et d'un annonciateur à la Bourse, ces deux postes sont avertis simultanément de la fin d'une conversation et n'ont pas à échanger d'avis de service, qui occasionneraient des pertes de temps.

Nous venons d'indiquer comment le bureau de l'avenue de l'Opéra livre les communications aux abonnés qui y sont directement reliés; voyons maintenant comment on a pu donner satisfaction aux abonnés du réseau urbain qui ont demandé à être reliés directement au bureau de la Bourse. Il se présentait là une nouvelle difficulté: en effet, tant qu'il ne s'agissait d'échanger des signaux qu'entre le bureau de la Bourse et celui de l'Opéra, il suffisait d'une pile de peu de couples pour appeler ce dernier bureau sans communiquer aux annonciateurs A placés à la Bourse un MAGNÉTISME RÉMANENT considérable et par suite gênant. Théoriquement, le noyau d'un annonciateur



Fils de Paris à Bruxelles.

Fig. 15.

il en est autrement. Voici alors ce qui se passe: supposons un abonné relié directement à la Bourse et distant de celle-ci de 8 à 9 kilomètres; la résistance de la ligne sera de 400 à 500 ohms, et pour aviser cet abonné qu'on le demande à Bruxelles, il faudra employer un courant relativement fort, sous l'influence duquel l'annonciateur A placé en dérivation sur la ligne (fig. 15) s'aimantera fortement. Quand, à son tour, l'abonné voudra appeler, l'annonciateur ne fonctionnera plus ou fonctionnera mal si le courant n'a pas une direction convenable.

La difficulté que nous venons de signaler a été résolue par l'emploi d'une MACHINE MAGNÉTO-ÉLECTRIQUE à courants alternatifs pour produire les appels. Les courants étant alternatifs risquent moins de communiquer une aimantation permanente à l'annonciateur; de plus, à la fin de chaque appel, la vitesse de rotation de la machine décroissant graduellement, les courants sont d'une intensité également de moins en moins grande et le magnétisme résiduel est très faible. Grâce à ce procédé, il devient inutile d'augmenter la force de la pile placée chez l'abonné, et le courant, quel que soit son sens, se trouve toujours dans les conditions les plus favorables pour actionner l'annonciateur.

M. le Dr Rothen, directeur adjoint des Télégraphes suisses, s'exprime ainsi au sujet de l'application du système Van Rysselberghe (*Journal télégraphique de Berne*, 25 avril 1888). « En Suisse, nous avons dû abandonner le système Van Rysselberghe entre Genève et Lausanne et construire une ligne spéciale téléphonique; nous sommes aussi obligés d'abandonner le système entre Bâle et Zurich, la ligne téléphonique indépendante est déjà tracée et sera construite aussitôt que la saison le permettra. » Voici l'appréciation qu'il donne de ce système, dont il reconnaît, d'ailleurs, toute l'ingéniosité au point de vue théorique: « Le système Van Rysselberghe a plusieurs points faibles. Les appareils sont excessivement délicats, surtout les condensateurs. Un décharge atmosphérique relativement faible peut les détruire complètement; il a donc fallu y appliquer des PARAFONDRES

qui laissent passer les décharges atmosphériques encore plus facilement que les condensateurs; mais alors ces parafoudres se dérangent très souvent, une légère décharge atmosphérique peut mettre la ligne télégraphique en communication avec la terre, et malgré cette grande sensibilité des parafoudres, les condensateurs sont pourtant quelquefois détruits. Le système Van Rysselberghe influence le service télégraphique d'une manière assez fâcheuse. D'abord, il faut augmenter considérablement les piles des postes télégraphiques, mais on pourrait encore passer sur cet inconvénient; le pire est que le service télégraphique se trouve ralenti par l'augmentation de la durée de l'état variable des courants. Le service Morse ordinairement n'en souffre pas; mais les transmissions par le Hughes sont souvent dérangées et le service des appareils rapides, Wheatstone et autres, est probablement impossible. Au point de vue téléphonique les transmissions sont très faibles, au moins avec les appareils ordinaires, et le silence des signaux télégraphiques est, pour ainsi dire, seulement obtenu en théorie. Les frais de l'installation du système ne sont pas si insignifiants qu'on le croit quelquefois; son application à la ligne télégraphique de Genève à Lausanne nous a, par exemple, coûté environ 15.000 francs.

En résumé, un fil muni des appareils anti-inducteurs de M. Van Rysselberghe peut être utilisé simultanément pour les transmissions télégraphiques et téléphoniques. Cette circonstance paraît au premier abord faciliter beaucoup l'établissement des communications téléphoniques à longue distance; mais il y a un grave inconvénient, qui s'oppose à ce que l'invention puisse être facilement appliquée, c'est que la plupart des lignes télégraphiques qui relient les grandes villes se composent d'un grand nombre de fils; on se trouve donc dans la nécessité de munir d'appareils anti-inducteurs chacun des conducteurs télégraphiques fixés aux mêmes poteaux, sans qu'il l'action inductrice des autres conducteurs gênerait le fonctionnement du téléphone. Le système de M. Van Rysselberghe devient alors non seulement très compliqué, mais encore fort dispendieux, en raison de la grande quantité d'appareils très coûteux qu'il faut employer. Cet inconvénient lui enlève déjà une notable partie de sa valeur.

Il faut ajouter aussi que le système de M. Van Rysselberghe éteint bien les bruits d'induction des télégraphes Morse, mais qu'il n'a pas le même effet sur les lignes où fonctionnent les télégraphes Baudot (or, le Baudot tend à être substitué au Morse sur toutes les grandes lignes, en raison de sa rapidité). Enfin la vitesse de manipulation du Morse doit être réduite dans une assez forte proportion, et il faut transformer le montage non seulement des deux postes télégraphiques extrêmes, mais aussi celui des postes intermédiaires. Dans une conférence faite à Londres en 1886, M. Prece, examinant l'avenir du système van Rysselberghe en Angleterre, faisait remarquer que les dispositions imaginées par cet inventeur pour combattre l'induction présentent un inconvénient pour le fonctionnement des transmetteurs automatiques de Wheatstone qui envoient de 300 à 400 mots par minute, et il était d'avis que ces dispositions diminueraient considérablement la vitesse de l'appareil Wheatstone.

Remarquons enfin que, dans l'installation faite entre Paris et Bruxelles, et que nous avons décrite en détail, le système Van Rysselberghe est employé sur la partie belge de la ligne, mais que de la frontière à Paris on a préféré poser une ligne spéciale en fils suffisamment conducteurs et formant un circuit métallique complet et que, grâce à ces dispositions, on a pu obtenir de bonnes communications téléphoniques

sans être obligé de munir les postes télégraphiques intermédiaires d'appareils anti-inducteurs.

III. — Emploi d'une ligne spéciale de résistance réduite avec ou sans appareils anti-inducteurs.

La condition essentielle pour pouvoir communiquer téléphoniquement à longue distance c'est d'avoir une ligne suffisamment conductrice et comprenant un fil d'aller et un fil de retour, afin d'écartier aussi complètement que possible les crépitations secondaires dues à l'action de l'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE et des courants terrestres.

Il se présente en effet un obstacle qui réduit de beaucoup la portée de la transmission sur les lignes télégraphiques actuelles. Cet obstacle tient à un principe de physique.

Quand on lance dans un fil des courants à variations brusques, le fil oppose à leur marche une résistance plus considérable que quand le courant a une intensité uniforme. Ce phénomène s'explique ainsi: quand des courants variables sont envoyés sur un conducteur, l'intensité du courant ne demeure pas uniforme dans tous les points de la section du fil, mais l'électricité se trouve refoulée à la surface extérieure. La résistance apparente d'un fil cylindrique dans le cas de courants ondulatoires ne dépend pas seulement de la rapidité des ondulations du courant, et, dans une certaine proportion, du diamètre du fil, mais aussi des propriétés magnétiques de ce dernier. Quand on emploie, par exemple, un fil de fer de 4 millimètres de diamètre (dimension du fil télégraphique ordinaire), la résistance opposée à un courant ondulatoire se trouve doublée à 300 ondulations par seconde; elle est décuplée à 1.000 vibrations. De cette loi physique résulte une influence très préjudiciable sur la transmission du son, car, les sons graves ayant un nombre moins considérable de vibrations que les sons aigus, la résistance du fil de fer varie suivant la tonalité des sons, les ondulations du courant se trouvent modifiées en conséquence et la voix peut être altérée au point que toute communication est impossible si la ligne a une certaine longueur.

Or, dans tous les pays, les conducteurs télégraphiques sont, à part quelques exceptions, en fer ou en acier. C'est là le principal motif pour lequel on ne peut pas employer l'appareil Van Rysselberghe sur des lignes d'une longueur assez considérable, et c'est pour cette raison qu'en général il est impossible de correspondre à de grandes distances même avec les meilleurs appareils. Pour pouvoir communiquer on doit donc renoncer à l'emploi du fil de fer ou d'acier et prendre du cuivre ou du bronze, qui n'offrent pas les mêmes inconvénients.

C'est ce que l'expérience a confirmé et c'est ce que la théorie indique. A ce propos, il nous paraît intéressant de résumer ici une étude faite par M. Prece en 1887 (*Lumière électrique*). Cet ingénieur électrique anglais établit que la distance à laquelle il est possible de communiquer par téléphone sur des lignes terrestres est identique à celle qui détermine le nombre de courants qu'on peut transmettre dans l'unité de temps à travers un câble sous-marin. Cette loi, établie mathématiquement par sir W. Thomson en 1855, a été démontrée expérimentalement par MM. Fleming-Jenkin et Cromwell Warley.

« La distance limitée à laquelle il est possible de correspondre varie en proportion inverse avec la vitesse du courant, et cette dernière varie inversement au produit de la résistance et de la capacité totale du circuit.

» On peut donc dire que le nombre d'inversions qu'il

est possible de produire à travers un circuit varie en proportion inverse du produit de la résistance totale R et de la capacité totale K ou que la distance limite S est :

$$S = KR \times \text{constante (1)}$$

« Ou encore que :

$$S = krP \times \text{constante,}$$

puisque $K = lk$ et $R = br$, en appelant l la longueur du circuit et r la résistance par unité de longueur.

« En mettant la formule (1) sous la forme $A = krP^2$ et en donnant à A les valeurs suivantes :

Culvre (aérien)	15.000
Câbles et fils souterrains	12.000
Fer (aérien)	10.000

on peut déterminer la distance limite x de la transmission de la parole pour toutes espèces de fils.

« Exemple : Si on prend le cuivre pour lequel $A = 15.000$, on trouve :

$$x^2 = \frac{A}{kr} = \frac{15.000}{0,0124}$$

(en supposant que le fil ait une résistance de 1 ohm, par mille et une capacité de 0,0124 microfarad par mille). On en tire : $x = 1.109$ milles pour la limite de transmission de la parole sur ce fil.

« Le fil employé entre Paris et Bruxelles a une résistance de 2,4 ohms et une capacité d'environ 0,012 microfarad par kilomètre, et comme la distance n'est que de 200 milles la transmission doit être et est, en effet, excellente. »

L'INERTIE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE du métal employé pour la ligne intervient aussi pour modifier la distance à laquelle on peut communiquer.

En Amérique et en Angleterre on a construit des lignes téléphoniques spéciales qui permettent, parallèlement, de correspondre dans d'excellentes conditions à de longues distances sans employer de dispositions particulières. Ainsi, l'American Bell Telephone Co a posé entre New York et Boston une ligne de 486 kil. de longueur formée d'un conducteur de cuivre de 0^m,60279 de diamètre, offrant une résistance de 2,8 ohms par kilomètre. La ligne est double, le circuit a, par conséquent, une longueur totale de 960 kilomètres et une résistance de 2.600 ohms en nombre rond, c'est à dire la même résistance qu'une ligne télégraphique en fil de fer de 0^m,003 de diamètre et de 168 kilomètres de longueur. La ligne était posée sur poteaux supportant déjà des fils télégraphiques; elle traversait huit rivières à l'aide de câbles formés d'un conducteur de cuivre de 0^m,00165 de diamètre et elle se trouvait enfin dans le voisinage immédiat d'autres lignes téléphoniques. Les appareils employés étaient des MICROPHONES RUNNING à poussière de charbon actionnés par trois couples au bichromate de potasse. On se servait à chaque poste d'un seul téléphone Bell. Malgré ces conditions défavorables les conversations s'échangeaient d'une façon régulière et normale, ainsi que l'ont constaté plusieurs ingénieurs français qui étaient allés visiter l'Exposition de Philadelphie en 1884.

M. Van Rysselberghe, résumant, dans un rapport adressé au directeur des Postes et Télégraphes belges, les expériences de téléphonie à longue distance faites aux États-Unis, disait que sur des fils de cuivre de 0^m,0027 de diamètre la compréhension était facile à 810 kilomètres, mais qu'à 1.175 kilomètres on ne percevait que quelques mots, tandis qu'avec des lignes en fil de fer de 0^m,0043 la compréhension cessait d'être facile vers 400 kilomètres; à 520 kilomètres on pouvait seulement reconnaître qu'on parlait et à 1.000 kilo-

mètres on ne percevait plus rien. Sur une ligne compound de 0^m,006 de diamètre avec âme en fer de 0^m,003 une compréhension complète a pu être obtenue à 1.625 kilomètres.

Tous ces résultats d'expériences permettaient de croire, ainsi que nous le disions plus haut, que le problème de la téléphonie à longue distance serait résolu le jour où l'on voudrait faire la dépense de lignes spéciales d'une conductibilité suffisante et soustraites à l'action des courants perturbateurs en employant des systèmes anti-inducteurs tels, par exemple, que ceux de M. Van Rysselberghe. C'est ce qu'a démontré l'expérience faite tout récemment de Paris à Marseille.

L'établissement des communications téléphoniques entre ces deux villes, dont la distance kilométrique par voie ferrée est de 863 kilomètres, fera époque dans l'histoire de la téléphonie; aussi nous paraît-il intéressant de donner quelques détails sur cette installation.

Application entre Paris et Marseille. — Nous empruntons les renseignements qui suivent à une étude publiée par M. Marcillac dans la *Lumière électrique* (n° 27, t. XXIX).

« Avant de décider la construction d'une ligne aussi longue on a procédé à des expériences de téléphonie à grande distance, en reliant ensemble les plus longues lignes téléphoniques dont on pouvait disposer. On a pris une ligne d'Anvers à Paris et on l'a reliée à l'autre ligne de Paris à Bruxelles par Momignies, qui elle-même a été mise en communication avec celle de Bruxelles à Verviers. La longueur totale ainsi obtenue entre Anvers et Verviers était de 1.000 kilomètres environ. Les communications ont été entendues avec la plus grande clarté.

« La ligne téléphonique de Paris à Marseille a une longueur totale de 1.000 kilomètres, soit pour le circuit complet 2.000 kilomètres. Elle part de la Bourse de Paris; est souterraine jusqu'à la gare de Vincennes, place de la Bastille; elle devient aérienne sur le reste du parcours; elle suit le chemin de fer de Vincennes jusqu'à la ligne de grande ceinture, emprunte le parcours de la ligne de l'Est jusqu'à Troyes, puis se dirige sur la ligne de P.-L.-M. Elle passe par Dijon, Bourg, Lyon, Valence, Avignon, Arles et aboutit à Marseille. Les conducteurs en bronze alliés ont un diamètre de 0^m,0045 et pèsent 146 kilogrammes environ par kilomètre; les raccords des fils ont été faits au moyen de machons, le tout recouvert d'une soudure spéciale. Il se trouve une soudure tous les 200 mètres de fil courant. Il faut aussi ajouter à ce nombre considérable de points de jonction, les soudures placées aux croisements des conducteurs supérieur et inférieur. Les conducteurs, placés en tête des appuis, sont posés comme suit: le premier fait face à la voie, le deuxième est fixé du côté opposé à 0^m,50 au-dessous de l'autre. En ligne (hors des villes et en libre parcours), ils sont attachés de kilomètre en kilomètre, pour atténuer les effets d'induction. Sur certains points où les dispositions du réseau ordinaire le permettent, les croisements n'ont été faits que de 2 en 2 kilomètres; par contre, à proximité des grandes nappes de fils des lignes principales, l'alternat des fils de bronze s'opère de 70 en 70 mètres, et dans l'intérieur de la ville de Marseille, tous les 50 mètres. Pour la traversée de certains tunnels que l'on n'a pu éviter on a raccordé les sections aériennes à l'aide de câbles du type Fortin-Hermann. Enfin on n'a fait usage comme supports que d'ISOLATEURS grand modèle à double cloche.

« Modifiant les dispositions préconisées à l'étranger, l'administration française a délaissé les croisements à

six ou quatre isolateurs conjugués et a adopté la disposition suivante (fig. 11) : le fil placé face à la voie est représenté en F, F', le fil inférieur situé à l'extérieur de la voie en F₁, F'₁, le fil F est arçé sur l'isolateur a, il passe sur l'isolateur b et de là sur le fil inférieur F'. Quant au fil supérieur F', il descend en arrière du poteau sur le support b' et se rattache au fil inférieur F'.

« La ligne ainsi établie offre une résistance électrique moyenne de 1,68 ohm par kilomètre, soit une résistance totale de 2.160 ohms équivalente à celle d'une ligne télégraphique en fil de fer de 0^m,004 qui aurait 216 kilomètres de longueur.

« On fit successivement les essais suivants au fur et à mesure de l'état d'avancement de la pose de la ligne. Les fils furent bouclés d'abord à Avignon, et la transmission se fit avec des microtéléphones Ader du poste 1 de Marseille au poste 2 de la même ville ; la longueur du circuit était de 210 kilomètres ; puis on boucla les fils à Valence, et enfin on parla entre

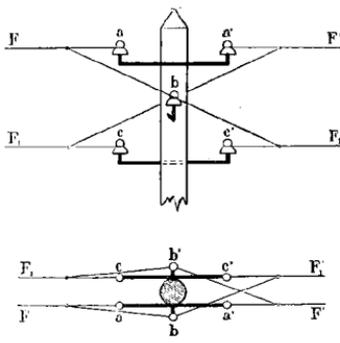


Fig. 11.

Lyon et Marseille ; la longueur du fil était alors de 730 kilomètres. La pile du transmetteur comprenait six couples Leclanché à agglomérés montés en deux séries de trois. Le 7 mai 1888 on correspondait de Troyes à Marseille. Troyes recevait très bien de Marseille, qui recevait assez difficilement de lui. Enfin, le 14 mai, la ligne a été essayée entre Marseille et Paris. L'audition fut aussi nette et presque aussi puissante qu'avec les autres postes ; grâce aux appareils anti-inducteurs du système Van Bysselberghe placés sur tous les fils de la grande ligne établis sur une rangée de poteaux jumelle de celle qui supporte les fils téléphoniques, il y a eu une diminution importante de la friture (bruits d'induction). »

Il résulte de renseignements plus récents publiés par *l'Electicien* (n° 287, t. XII) que, en temps normal, Paris et Marseille sont reliés séparément avec Lyon, de sorte qu'on peut communiquer au même instant entre Paris et Lyon d'une part, Marseille et Lyon d'autre part. Lorsqu'on veut téléphoner entre Paris et Marseille, le bureau de Lyon, prévu, met directement en communication ces deux postes extrêmes. Six couples de Lalande et Clapeton, trois montés en tension et deux en quantité, alimentent chacun les postes de Paris et de Marseille ; les deux postes de Lyon sont alimentés chacun par trois couples en tension. Ces couples ont une force électromotrice de

0,8 volt et une résistance intérieure de 0,1 ohm. Les transmetteurs microphoniques, ainsi que les récepteurs, sont tous du système d'Arsonval. La ligne ayant une faible résistance, les postes pourraient être facilement aménagés pour effectuer la télégraphie et la téléphonie simultanées. Mais le besoin ne s'en est fait nullement sentir, Paris et Marseille étant reliés par un nombre bien suffisant de fils télégraphiques.

TÉLÉPHONIE DOMESTIQUE. — Système de téléphonie employé pour mettre en correspondance les diverses parties d'un édifice ou deux points peu distants. On emploie à cet effet, suivant les cas, soit des postes téléphoniques magnétiques, soit des postes microtéléphoniques sans bobine d'induction ou à courants primaires, soit enfin des postes microtéléphoniques avec bobines d'induction ou à courants d'induction. (V. TÉLÉPHONIE.)

TÉLÉPHONIE ET TÉLÉGRAPHIE SIMULTANÉES. — Système de téléphonie consistant à employer les lignes télégraphiques existantes au service de la téléphonie interurbaine, en les disposant de façon que l'on puisse télégraphier et téléphoner simultanément. (V. TÉLÉPHONIE A LONGUE DISTANCE.)

TÉLÉPHONIE INTERURBAINE. — Système de téléphonie employé pour mettre en relation les habitants de deux ou plusieurs villes plus ou moins éloignées, soit à l'aide de fils spéciaux qui forment un réseau interurbain, soit à l'aide des fils télégraphiques existants (V. TÉLÉPHONIE A LONGUE DISTANCE). On se sert dans ce cas exclusivement de postes microtéléphoniques à bobine d'induction.

TÉLÉPHONIE MILITAIRE. — Les conditions générales auxquelles doivent satisfaire les divers appareils composant un poste téléphonique militaire portatif sont les suivantes : le parleur doit transmettre les sons articulés avec la plus grande clarté, avec la plus grande intensité possible. La réaction, dans la plus large mesure, de ces deux qualités fondamentales conduit en principe à l'adoption du microphone. Les récepteurs doivent être à réglage permanent et reproduire la parole avec beaucoup de netteté, afin d'obtenir une audition satisfaisante.

Les piles doivent toujours être en état de fonctionner à circuit fermé, pendant d'assez longues périodes, sans polarisation notable ; elles ne doivent exiger aucune entretien jusqu'à épuisement des principes constituants. En outre, comme toute pile doit être renouvelée après un certain temps de service, il faut la limiter au nombre de couples strictement nécessaires à un bon fonctionnement du microphone.

Enfin les appels de poste à poste ou de poste à central doivent être faits sans le secours d'une pile auxiliaire, en employant, par conséquent, de petits appareils à courant d'induction convenablement appropriés.

Tous les appareils et accessoires doivent, sans exagération de poids, être solidement construits, de façon à pouvoir être employés dans un service actif, et agencés de manière à permettre, au besoin, une visite facile et rapide des organes essentiels.

Nous donnons ci-dessous la description de deux modèles de postes téléphoniques militaires portatifs construits l'un par la maison de Beauville, l'autre par la Société générale des Téléphones.

Poste militaire portatif de M. de Beauville. — Ce poste, dont la vue d'ensemble est reproduite (fig. 1), se compose d'un coffre renfermant les divers appareils et accessoires suivants : un microphone parleur ; des téléphones récepteurs ; les crochets de repos des br-

phones, interrupteurs automatiques du courant de pile; un paratonnerre à pointes et à papier; un commutateur pour mise de la ligne à la terre pendant les orages; un appel direct à postes simples; un bouton du commutateur de l'appel direct; un appel à central; un bouton du commutateur de l'appel à central; une borne de liaison de poste à fil de ligne, une borne de liaison de poste à fil de terre ou de retour; des bornes pour la liaison du poste à la pile du microphone; des plots d'attache du cordon de téléphone (côté gauche), des plots d'attache du cordon de téléphone (côté droit).

L'ensemble est complété par une boîte à pile, contenant quatre couples montés en tension.

On a adopté comme partie le microphone de MM. d'Arsonval et P. Bert qui a été décrit à l'article MICROPHONE, et comme récepteurs les téléphones à boîte métallique, à réglage permanent et à pôles concentriques du Dr d'Arsonval; les téléphones à aimants plats accouplés de Teilloux, ou encore les télé-

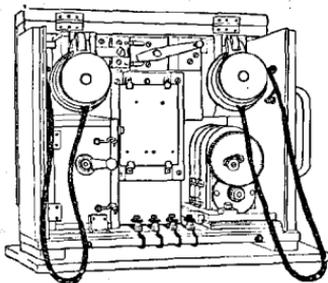


Fig. 1. — Poste portatif de M. de Branville.

phones à plaque polarisée du capitaine R. Colson. (V. RÉLÉPHONE.)

L'appel de poste à poste est l'APPEL PHONIQUE de M. Sieur.

L'appel d'un poste au poste central est une petite machine magnéto-électrique à bobine Siemens. Un commutateur à ressort est disposé, comme dans le phonique, pour mettre cet appel en ligne, à l'exclusion des téléphones, pendant la durée de transmission d'un signal. Cet appareil peut actionner à de grandes distances des RELAIS indicateurs d'appel ou des SONNERIES POLARISÉES.

Enfin, le poste peut être pourvu d'un commutateur à double effet ouvrant ou fermant à volonté le court circuit du microphone, sans qu'il soit nécessaire d'accrocher ou de décrocher les téléphones récepteurs; en même temps, et comme manœuvre correspondante, il sépare du circuit de la ligne ou il y fait entrer le fil secondaire de la BOBINE D'INDUCTION. Ses avantages sont les suivants: on peut conserver les téléphones ou l'un d'eux à l'oreille, sans être obligé pour cela de laisser la pile s'user inutilement tout le temps que l'on doit écouter sans avoir rien à transmettre; en outre, pendant toute cette durée, on supprime l'effet nuisible dû à la résistance passive et à la CAPACITÉ ELECTRO-STATIQUE de la bobine d'induction. L'emploi de ce commutateur a une grande utilité pratique quand un certain nombre de postes sont embranchés dans un même circuit, tandis que certains d'entre eux seulement échangent à tour de rôle des communications.

M. de Branville a adopté les piles de MM. de Lalande et Chaperon convenablement modifiées en vue de cette application spéciale. Les couples sont composés d'un vase en ébonite de forme rectangulaire, en partie rempli par une dissolution de potasse caustique absorbée dans de la chaux vive. Entièrement noyées dans cette pâte alcaline, et en regard l'une de l'autre, se trouvent une charge d'oxyde de cuivre contenue dans une boîte étroite en tôle de fer avec paroi en tôle métallique et une plaque de zinc amalgamé. Les principes constituants ainsi disposés sont couverts d'une couche de paraffine traversée seulement par deux conducteurs, de façon à empêcher toute déperdition de partie humide à l'extérieur et toute introduction d'air à l'intérieur de l'élément.

Poste militaire portatif de la Société générale des Téléphones. — La fig. 2 donne la vue perspec-

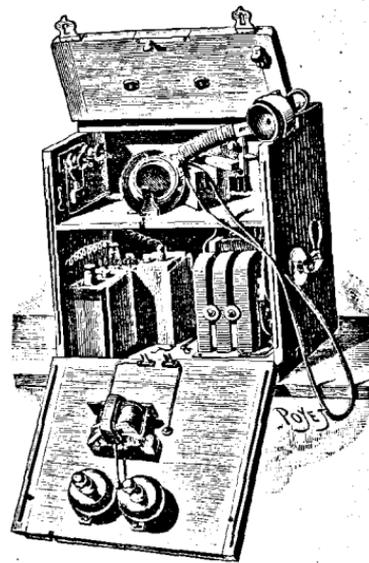


Fig. 2.

Poste portatif de la Société générale des Téléphones.

tive du poste téléphonique construit par la Société générale des Téléphones pour les usages militaires. Il se compose d'un appareil combiné Berthon-Ador, d'un petit magnéto pour l'appel, de trois petits couples à la glose pour le microphone. Un commutateur permet de mettre la pile en action lorsqu'on veut parler. Quand on referme la boîte, ce commutateur rompt automatiquement le circuit de la pile, qui ne travaille pas inutilement.

La boîte renfermant le poste est placée dans un havresac de soldat. Lorsque celui qui porte le poste veut s'en servir, il enlève les bretelles du havresac, prend une seconde courroie fixée au sac, la met en bandoulière, ouvre le couvercle de la boîte, fixe le fil de ligne aux bornes, prend en main l'appareil

microtéléphonique et appelle au moyen du magnéto; lorsqu'il a reçu confirmation de son appel, il met son commutateur sur microphone et il parle.

TÉLÉPHONIE SOUS-MARINE. — On a fait en Amérique des essais de téléphonie sous-marine au moyen d'un appareil microtéléphonique disposé d'une façon particulière. — Il paraît qu'on a pu ainsi distinguer les balancements d'une cloche située sous l'eau à une distance de 2.400 mètres. (V. *TÉLÉPHONIE, Applications.*)

TÉLÉPHONIE URBAINE. — Système de téléphonie employé pour mettre en correspondance les habitants d'une même ville; on emploie alors des postes microtéléphoniques, qui sont le plus souvent à bobines d'induction. (V. *TÉLÉPHONIE.*) Ces postes sont reliés par des lignes qui constituent un réseau téléphonique à des bureaux ou stations centrales.

TÉLÉPHONOGRAPHE. — Appareil imaginé par M. Lagriffe dans le but de déterminer des vibrations assez énergiques de la part de la plaque d'un téléphone récepteur, pour imprimer sur la feuille d'étain d'un *PHONOGRAMME* des gaufrages susceptibles de reproduire la parole transmise quand on vient à tourner celui-ci. Le transmetteur est un parleur microphonique.

TÉLÉPHOTE (du grec *tèle*, loin; *phôs*, *phôtos*, lumière). — Appareil servant à transmettre une image lumineuse à distance par l'électricité.

Le problème de la vision à distance par l'électricité est un des plus curieux de la physique moderne, et sa solution a été cherchée par divers inventeurs, qui ont tous mis à profit la propriété qu'à le *SÉLÉNIUM* de changer de résistance par l'action de la lumière.

Tous les projets de téléphones publiés jusqu'ici ont un point de départ commun : on se propose de reproduire successivement les différentes parties de l'image dans un espace de temps assez court (1/8 de seconde) pour que les impressions visuelles persistent et représentent à l'œil l'ensemble de l'image.

Voici le moyen proposé par M. Sawyer et décrit par Du Moncel, dans son ouvrage sur la microphonie :

« Le transmetteur serait constitué par une spirale plate de fil fin de sélénium placée dans une chambre noire et sur laquelle l'image lumineuse serait successivement projetée par l'intermédiaire d'un tube de petit diamètre animé d'un mouvement de rotation rapide en spirale, de la périphérie au centre de la spirale de sélénium. La lumière émanée de l'image, soit directement, soit par réflexion, impressionnerait le sélénium aux différents points de la spirale, dans une proportion qui serait en rapport avec le degré d'intensité des différents points lumineux de l'image, et cela sur toute la surface successivement couverte par les projections lumineuses à travers le tube mobile. La vitesse du mouvement de ce tube devrait être telle que toutes les impressions lumineuses successivement laissées sur la spirale puissent se succéder assez rapidement pour persister sur la rétine pendant tout le parcours du tube, de la périphérie au centre de la spirale. Quant au récepteur, il se composerait, comme le transmetteur, d'un tube noir de petit diamètre, à l'intérieur duquel pourrait se mouvoir, de la même manière et avec une vitesse semblable à celle du tube de projection du premier appareil, un index noir, muni de deux pointes fines en platine, placées très près l'une de l'autre et mises en communication avec le fil secondaire d'une bobine d'induction, dont le fil primaire serait traversé par le courant venant de la ligne. Les deux organes mo-

biles dans le transmetteur et le récepteur ayant une grande vitesse et des mouvements parfaitement synchrones, s'effectuant de la périphérie au centre de l'appareil, on peut concevoir que les impressions lumineuses déterminées par les successives de l'index du récepteur pourraient affecter l'œil successivement; et, étant en rapport avec les intensités lumineuses qui impressionneraient la spirale au transmetteur, elles pourraient fournir par leur superposition sur la rétine l'image qui a été projetée sur le transmetteur. »

M. Sawyer faisait observer lui-même que l'une des difficultés qui pourraient se présenter dans la réalisation de ce système serait de rendre le sélénium assez sensible pour produire des différences de résistances instantanées et suffisantes, et ainsi pour réaliser des mouvements parfaitement synchroniques.

TÉLÉPHOTOGRAPHIE. — Système ayant pour but de recueillir les images transmises au loin par l'électricité. En 1877, M. Senlecq, lors de l'apparition du téléphone, indiqua le premier le moyen de résoudre ce problème. MM. Sawyer, Carey, etc., et de Paiva firent connaître des solutions fondées, comme le système de Senlecq, sur le principe des appareils télégraphiques autographiques (V. *TÉLÉGRAMME*). En 1881, M. Sheldford Bidwell présenta à la Société de physique de Londres un appareil à l'aide duquel il put reproduire grossièrement une image lumineuse par des moyens analogues à ceux indiqués plus haut.

Les organes traçants manœuvraient comme dans les systèmes de télégraphes autographiques, avec cette seule différence que les interruptions du courant effectuées au poste de transmission, au lieu de résulter de traces encrees fixées sur un papier conducteur, étaient déterminées par la différence de conductibilité des différents points d'une plaque de sélénium sur laquelle une image lumineuse avait été produite. On projetait donc sur cette plaque l'image lumineuse d'une fente en losange; les différents points de la surface de sélénium présentaient une résistance variable, le courant qui traversait cette substance avait donc une intensité très différente dans les parties correspondantes à l'image lumineuse et dans celles où cette image n'existait pas. Les traces produites par la pointe traçante de l'appareil de réception dans les parties correspondantes aux points du transmetteur impressionnés par l'image lumineuse n'avaient pas la même teinte que dans les autres parties, et on comprend ainsi que l'ensemble de ces traces, pour ainsi dire interrompues sur une étendue plus ou moins longue, pouvaient donner une reproduction de l'image lumineuse.

Le problème de la reproduction des images lumineuses par l'intermédiaire de l'électricité peut donc être résolu; il reste à trouver les appareils pratiques.

TÉLÉRADIOPHONIE ÉLECTRIQUE multiple autoréversible. — Nom donné par M. Mercadier à un système de télégraphie électrique où les signaux sont produits par des signes radiophoniques. Ce système permet de transmettre sur un conducteur quelconque plusieurs signaux *simultanés*, à volonté, dans un sens ou en sens inverse, d'où la qualification abrégée de *multiple autoréversible*. Ce mot *autoréversible* indique d'ailleurs que la réversibilité est automatique; elle ne nécessite pas d'appareils accessoires, tels que lignes artificielles, relais différentiels, etc.

TELLURIQUE (Courant). — V. *COURANT*.

TELPHÉRAGE. — Fleeming-Jenkin a donné ce nom au transport à distance de véhicules par l'électricité, indépendamment de toute surveillance exercée du véhicule. (Selon les règles strictes de la dérivation, le mot devrait être *telephorage*; mais, afin d'éviter la comparaison avec le *téléphone*, on a remplacé le mot *téléphore* par le synonyme anglais *telpher*.)

Les lignes de telphérage ont pour but le transport économique et à petite vitesse des minéraux et autres marchandises, et voici à l'aide de quels raisonnements M. Fleeming-Jenkin a montré l'utilité de cette application de l'électricité :

L'emploi des machines à vapeur ne convient pas à la traction d'un grand nombre de petits trains ou de wagons isolés; en effet, en se servant, par exemple, de petites machines d'un cheval de force chacune, on a une trop grande perte dans la production de la force et le salaire des hommes employés pour chaque machine entraînerait à de trop grandes dépenses. Au contraire, avec un courant électrique de 50 chevaux, par exemple, traversant un conducteur de dimensions ordinaires, on peut actionner trente petites machines d'un cheval chacune qui, pratiquement, ne demandent aucune surveillance, et dont l'action peut être rendue presque aussi économique que celle d'un seul moteur électrique de 30 chevaux.

Si la force peut être distribuée économiquement le long d'une ligne de longueur de 10 milles, par exemple, au lieu d'un seul train qui demanderait une

force de 30 chevaux on pourrait employer trente petits trains, dont chacun correspondrait à un wagon tiré par un cheval. De plus, en distribuant le poids et en donnant une longueur considérable à chaque train, on pourrait employer une forme de voie très légère, comme, par exemple, une corde ou une tige suspendue de 20 millimètres de diamètre. Ainsi donc, on possède un moyen pratique de subdiviser la force et le poids.

Parmi les différentes formes de voies possibles pour le transport de la force et du poids, la corde ou tige suspendue paraît présenter de grands avantages; on peut, en effet, construire les lignes de ce genre très économiquement. Des installations analogues existent en Angleterre.

Le courant électrique produit par une machine DYNAMO, actionnée par une machine à vapeur ou par toute autre source de force, est amené le long du fil de ligne et est employé à actionner un moteur électrique. La condition nécessaire, c'est que les trains de véhicules lancés sur ce câble se conduisent eux-mêmes, qu'ils prennent le courant sans l'enlever aux autres trains, qu'ils se tiennent respectivement à distance convenable.

Au moment où M. Fleeming-Jenkin élaborait son projet, MM. Ayrton et Perry proposaient un mode de construction de chemins de fer électriques dans lequel le conducteur était isolé et le train ne prenait le courant que sur sa longueur et par sections successives (v. TRACTION ÉLECTRIQUE). Ces savants ont réuni



Fig. 1. — Figure schématique montrant le principe du fonctionnement d'un telphérage établi suivant le système en dérivation à deux voies croisées.

leurs idées et leurs efforts. Voici la description que M. Franck Geraldy donne du système qui est résulté de cette collaboration (*Lumière électrique*) :

« On peut employer : 1° le système en dérivation à deux voies croisées; 2° le système en tension à voie unique.

« La fig. 1 représente le schéma du système en dérivation. Il comprend deux lignes (l'une est représentée en traits pleins, l'autre en traits interrompus) : l'une (la pleine), isolée, communique avec la machine génératrice, l'autre (celle en traits interrompus) communique avec la terre. Les trains de véhicules sont composés d'une machine et d'une série de wagonnets au nombre de 7 ou 8; la machine est reliée par un fil au dernier wagonnet du train et elle communique avec le câble, ainsi que ce dernier wagonnet. Les lignes sont partagées en sections de longueur égale; à chaque point de section se trouve un support sur lequel les lignes se croisent; de plus, le train a exactement la longueur d'une section. Ceci posé, il est facile de comprendre comment les choses se passent : un train se trouve toujours à cheval sur une section isolée et sur une section communiquant avec la terre, le courant entre donc par une extrémité du train, le parcourt, et va à la terre par l'autre bout, en traversant toujours la machine motrice et par conséquent en la faisant tourner. Suivant la position du train, le courant entre par l'un ou l'autre bout et par suite change de direction dans l'appareil moteur; mais celui-ci étant une dynamo, cela ne change pas le sens de son mouvement, lequel ne dépend, comme on le sait, que de la position des balais. Chaque

train, quelle que soit la ligne sur laquelle il est placé, donne donc une dérivation du circuit à la terre; c'est pourquoi ce système est nommé en dérivation.

« La fig. 2 indique comment se fait le croisement des lignes sur les poteaux. Les deux portions de lignes placées dans le prolongement l'une de l'autre reposent sur deux selles métalliques A et B, isolées l'une de l'autre; entre les deux une pièce métal-

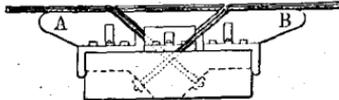


Fig. 2.

lique isolée des deux autres, maintient la continuité de la ligne.

« Le système en dérivation qui vient d'être décrit exige deux fils, mais il a l'avantage de permettre une circulation double en constituant une ligne montante et une ligne descendante.

« Le système en série ou en tension, au contraire, n'exige qu'une seule ligne; sa disposition est représentée schématiquement fig. 3. La ligne est divisée en sections d'égale longueur ayant chacune 36 mètres, isolées l'une de l'autre et réunies par des ponts mobiles.

« Dans l'état normal, les ponts sont fermés et la ligne ne forme qu'un seul conducteur. Le train doit avoir une longueur supérieure à celle d'une section. Quand

il s'engage sur la ligne, la machine placée à la tête passe toujours sur un pont, elle l'ouvre, et le courant, au lieu de suivre la section, passe par le train pour rejoindre la section suivante; en passant il met en mouvement la machine, le train s'avance et en passant sur le pont le dernier wagon le referme. Pour plus de précision un système particulier d'ELECTRO-AMMATS relie à demeure un certain nombre de sections derrière le train, de sorte que l'ouverture des

ponts de section ne permet pas au train d'entrer dans le courant, et que le second train laisse forcément un certain nombre de sections libres entre lui et le précédent. La circulation n'a lieu que dans un sens, il faut étudier les modes de croisements ou consacrer la ligne au service montant à certains heures et au service descendant à d'autres.

« Les avantages de ce système, d'après les auteurs, résulte de ce que la résistance totale est faible, l'iso-



Fig. 3. — Principe du fonctionnement d'un téléphérique établi suivant le système en tension.

lement n'a pas besoin d'être très parfait parce que les différences de POTENTIEL entre deux parties voisines

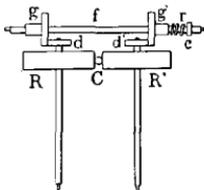


Fig. 4.

sont faibles. Avec le système en série on fait usage de ten-ions de 500 volts.

« MM. Ayrton et Perry ont combiné un moteur aussi puissant et aussi léger que possible. Ce moteur reposant sur le câble doit le saisir énergiquement. La fig. 4 montre comment on y est arrivé. Le câble C est saisi entre deux roues R et R' reliées à deux disques d, d' qui frottent contre deux galets g et g' placés sur un arbre f. L'un des galets g est fixe, l'autre g' tourne avec l'arbre, qui est de section rectangulaire; mais il peut glisser suivant son axe, et il est serré par un ressort énergétique r appuyé sur un collier c, de sorte que les deux roues R et R', tout en restant parfaitement libres dans leur rotation, sont énergiquement serrées l'une vers l'autre contre le câble C. Les axes des roues R et R' sont commandés par la machine et en reçoivent le mouvement, mais indirectement, par suite de la trop grande rapidité de ce dernier. La transformation peut s'effectuer de diverses manières. L'une est représentée fig. 5. La machine porte une grande roue, du genre des roues de vélocipède, à laquelle elle transmet son mouvement par friction.

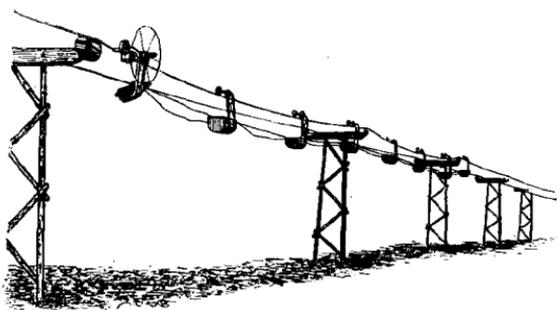


Fig. 5. — Vue perspective d'une ligne double de téléphérique.

« La fig. 6 donne la vue de la ligne au moment où deux trains vont se croiser; une autre locomotive y est figurée. On y fait usage d'un mode de transmission curieux, représenté fig. 7. — Deux roues sont placées excentriquement l'une à l'autre. Entre les jantes se trouvent trois galets; les deux premiers (ceux figurés à la partie supérieure) sont liés à un axe qui les pousse entre les jantes dans le sens de la flèche; il s'ensuit que le troisième galet est fortement pressé entre celles-ci. Ce dernier galet est relié à l'axe de la machine, de sorte que lorsque cet axe se met à tourner, les jantes des deux roues A et B tour-

nent en même temps et transmettent le mouvement du moteur électrique. »

Voici maintenant comment M. Fleming-Jenkin définit les conditions électriques et autres nécessaires pour ce qu'on peut appeler des « lignes de téléphérique types ».

« Première ligne : longueur 5 milles; longueur du circuit aller et retour 10 milles. Vingt-cinq trains marchant à la fois à une distance de 1/5 de mille l'un de l'autre et à une vitesse de 4 milles par heure. Supposons que chaque train exige une force moyenne d'un cheval et que le moteur prenne en moyenne une

intensité électrique de 2 ampères; supposons que la force électromotrice près de la machine fixe soit de 840 volts; à 5 milles de distance elle sera de 746 volts environ. L'intensité totale entrant dans la ligne sera de 50 ampères près de la machine. 50 ampères et 840 volts représentent 56,5 chevaux, dont 6,5 seront perdus à chauffer la ligne; les 50 chevaux restants effectueront un travail dans les moteurs équivalant à 23 chevaux. Afin de donner un courant de 50 ampères avec 840 volts, la machine stationnaire doit avoir $10/8 \times 56,5$ chevaux ou à peu près 70 chevaux, soit un peu moins de trois fois le rendement utile. »

« Si maintenant on examine les résultats économiques que peut donner une ligne de ce genre, on arrive aux conclusions suivantes. On peut admettre que le coût d'une machine de 100 chevaux est de 83 fr. 40

par cheval et par an, tous frais compris. En supposant même que ce prix atteigne 165 francs par cheval et par an, on arrive à 11.375 francs comme prix des 70 chevaux pour une ligne de téléphéragé. Supposons maintenant que les 25 trains circulant sur cette ligne transportent chacun une charge utile de 750 kilogrammes; dans une journée de 8 heures la ligne aura transporté 600 tonnes-milles, ou 600 tonnes à 1 mille de distance, ou encore 60 tonnes d'un bout à l'autre de la ligne. En comptant 300 journées de travail par an, la somme de 11.375 francs donne 37 fr. 00 par jour ou 6 centimes environ pour le prix de la force nécessaire pour transporter une tonne à 1 mille. Le prix d'installation de la ligne étant estimé à 200.000 francs et en comptant les intérêts et la dépréciation à 12 1/2 %, soit à 25.000 francs; en ajoutant

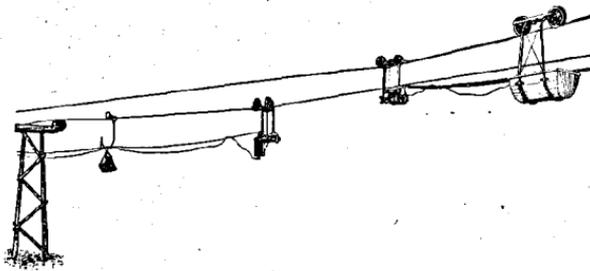


Fig. 6. — Vue perspective de la ligne au point de croisement de deux trains.

enfin le traitement de l'ingénieur, on arrive à une dépense totale de 38.875 francs pour un rendement journalier de 600 tonnes-milles et à une dépense de 22,2 centimes pour le transport d'une tonne à 1 mille.

« Pour un plus petit trafic le prix de revient est un peu plus élevé, il correspond à environ 36 centimes par mille et par tonne. Enfin M. Fleming-Jenkin,

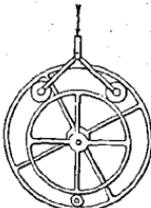


Fig. 7.

dans une conférence faite en 1884 sur la question des téléphéragés, et dont nous avons extrait les renseignements qui précèdent, fait remarquer que ce mode de transport est avantageux pour certaines marchandises telles que le blé, le charbon, les minéraux, le gravier, le sable, etc., en un mot toutes les marchandises pouvant être commodément divisées en masses de 100 à 150 kilogrammes. On pourrait faire des lignes capables de transporter de 250 à 300 kilogrammes dans chaque wagon; les lignes supporteraient même des poids plus lourds, si ceux-ci étaient sus-

pendus, comme des planches ou des poteaux, à plusieurs wagons couplés ensemble. Les lignes admettent facilement des inclinaisons très fortes et des courbes de faible rayon; on peut enfin les établir en obtenant un simple droit de passage, puisqu'elles sont aériennes et ne gênent pas l'emploi du sol pour l'agriculture. »

M. Lartigue, en France, a imaginé un système à peu près semblable à celui de M. Fleming-Jenkin et auquel il a donné le nom de *monorail*. Les véhicules, moteurs et wagons, sont disposés comme des cacochers; leurs roues, au nombre de deux par véhicule, sont placées à la partie supérieure et roulent sur un rail unique supporté par une série de tréteaux en fer cornière à une certaine distance au-dessus du sol. Le long de ces supports règnent deux bandes métalliques isolées servant de conducteurs pour le courant. Ce dernier est fourni par une machine dynamo-électrique fixe; il arrive dans le moteur par les bandes métalliques dont il a été question ci-dessus et qui servent en outre à maintenir l'équilibre des véhicules du train. Quant au moteur, placé en tête, il consiste simplement en une machine dynamo Siemens qui transmet son mouvement de rotation aux roues à l'aide d'engrenages.

Le téléphéragé présente de nombreux avantages; lorsqu'il sera suffisamment perfectionné, il s'appliquera probablement à la plupart des lignes sur câbles déjà existantes et à d'autres construites pour le service des mines, des ports, des canaux, et en terrain difficile, etc. Il sera utilisé dans les colonies, dans les installations provisoires; il servira à la guerre, etc.

TÉMOIN (Aimant). — Petit AIMANT placé à l'intérieur des GALVANOSCOPIES ou DOUSSOLES des postes télé-

graphiques et dont l'action attractive est destinée à maintenir l'ARCADE AMANTÉE dans le plan du MULTIPLI-CATEUR SANS QU'AU-UN COURANT NE PASSE.

TEMPÊTE MAGNÉTIQUE. — Synonyme d'ORAGE MAGNÉTIQUE.

TENSION (Montage en). — Système d'ACCOUPLER-MENT DES PILES et des MACHINES ÉLECTRIQUES.

TENSION ÉLECTRIQUE. — On se sert quelquefois, dans le langage électrique, du mot *tension*. M. Mascart en prescrit avec raison l'emploi comme pouvant donner lieu à des confusions. Ce mot a reçu, en effet, au moins cinq acceptions différentes.

M. Michaut et Gillet, dans leurs *Leçons élémentaires de télégraphie électrique* (1885), disaient que la tension était l'effet immédiat de la force électromotrice et lui étant proportionnelle, les deux termes *force électromotrice* et *tension* peuvent être confondus et considérés comme synonymes.

M. Mercadier dans son *Traité élémentaire de télégraphie électrique* (1890) donne au mot *tension* la même signification qu'à *potentiel*. (V. POTENTIEL.)

Nous partageons cette dernière opinion et nous ajouterons que dans aucun cas le mot *tension* ne doit signifier *différence de potentiel*.

Le mieux est de ne pas employer ce mot.

Ternant (Alcide-Ludovic), né à Arras en 1832, mort à Marseille le 30 décembre 1884. Employé depuis 1853 dans le service de la télégraphie sous-marine, il en a suivi toutes les phases et a contribué dans une large mesure à ses progrès. Il a été successivement attaché au service des premiers CABLES établis entre Bône et Malte, aux câbles du golfe Persique, aux laboratoires d'essais de Silvertown et de Woolwich, et s'est occupé de la pose de plusieurs câbles comme électricien de M. Henley. Depuis 1870 il était directeur et électricien de l'Eastern Telegraph Co à Marseille. Peu de temps avant sa mort, il avait été élu président de la Société scientifique industrielle et de la Société de statistique de Marseille. On lui doit des études très estimées sur la propagation des COURANTS dans les câbles sous-marins, un ouvrage sur la TÉLÉPHONIE et un livre sur les TÉLÉGRAPHES, paru dans la Bibliothèque des Merveilles. Il a publié dans *l'Électricien* une série d'articles remarquables sur le SÉPHON RECORDER et le CURB-SENDER automatique de sir William Thomson. Ternant était aussi estimé comme homme privé que comme savant.

TERRE (Résistance de la). — V. RÉSISTANCE.

TERRESTRE (Courant). — V. COURANT.

Thalès, philosophe grec, le plus ancien et le plus illustre des sept sages, fondateur de l'école ionique l'une des deux grandes sources de la philosophie grecque, né, suivant une version, à Milet, d'une famille thébaine de la race de Cadmus, vers 610 avant J.-C. D'autres le font naître en Phénicie. Son nom n'est connu des électriciens que parce qu'il a, le premier, remarqué que l'ambre jaune (en grec *electron*), frotte, attire les corps légers. Il voyagea, dit-on, pour s'instruire, étudia les sciences dans les sanctuaires de l'Égypte, revint se fixer et enseigner à Milet, et mourut presque centenaire.

THÉORIE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE DE LA LUMIÈRE. — (V. LUMIÈRE.)

THÉRAPEUTIQUE. — L'électricité ne s'est imposée comme un véritable agent thérapeutique que depuis

quelques années, et surtout depuis l'Exposition de Paris en 1881 et la réunion du Congrès international des électriciens. Les premiers essais thérapeutiques paraissent, il est vrai, remonter à plus d'un siècle, et même, si l'on en croit de Humboldt, à une époque beaucoup plus reculée, puisque, d'après cet auteur, les Indiens se guérissaient déjà des paralysies par les DÉCHARGES ÉLECTRIQUES DU OYMOZOT. Mais jusqu'à nos jours l'électrothérapie avait conservé un certain cachet d'empirisme qui explique le discrédit dans lequel elle était tombée à plusieurs reprises.

C'est ainsi qu'après les premières applications médicales de l'électricité statique par Jahnke, médecin de Genève, vers 1740, de nombreux médecins se lancèrent dans cette voie nouvelle et s'imaginèrent que toutes les maladies par le *bain électrique* ou avec la *bouteille de Leyde*. Mais ces exagérations amenèrent bientôt une réaction qui fit reléguer l'électricité au nombre de ces panacées universelles si communes à cette époque.

Au commencement de notre siècle la découverte de la PILE donna une impulsion nouvelle à l'ÉLECTROTHÉRAPIE. Mais l'application des courants galvaniques, dont Aldini (neveu de Galvani) avait annoncé les résultats surprenants, fut bientôt décriée à son tour par la FARADISATION. Cédant, en effet, à l'engouement et à la mode du moment, les médecins, enthousiasmés par la découverte de Faraday en 1832, et aussi entraînés par les remarquables travaux de Duchenne (de Boulogne), abandonnèrent l'électricité statique et les COURANTS continus pour ne plus employer presque exclusivement que les courants induits.

Aujourd'hui, tout en faisant la part des exagérations inévitables lorsqu'il s'agit d'un agent en somme peu connu, nous devons reconnaître que le public médical tend de plus en plus à considérer l'électricité comme un véritable *médicament*, qui a, comme tous les autres, sa posologie, ses indications et ses contre-indications. On a compris que l'électricité est un agent qu'on ne doit pas employer sans mesure et indifféremment dans tous les cas. On possède, d'autre part, des UNITÉS et des appareils de MESURE adoptés d'une manière générale qui permettent de graduer la QUANTITÉ, la TENSION ou la RÉSISTANCE de l'agent électrique comme on détermine la DOSE, la forme ou l'excipient d'un médicament ordinaire.

On peut donc prédire à l'électricité un avenir brillant, en thérapeutique comme ailleurs; mais, pour atteindre plus sûrement ce but, il faut savoir attendre et, comme le dit le Dr Bardet, « entrer franchement dans la voie expérimentale, avoir le courage d'avouer l'ignorance des causes lorsque aucune explication scientifique n'est possible, et reléguer parmi les choses du passé toute théorie, toute expérience qui ne peut s'expliquer par la méthode véritablement positive ».

On trouvera dans d'autres parties de ce dictionnaire, aux mots ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, GALVANOCAUTÈRE, PILES (médicales), etc., la description très complète des divers appareils électriques employés en médecine. Nous ne nous occuperons ici que de la thérapeutique proprement dite, c'est-à-dire des différentes *méthodes d'électricisation* qui ont été proposées et des principales applications thérapeutiques de l'électricité sous ses différentes formes.

MÉTHODES D'ÉLECTRISATION.

Les procédés d'application de l'électrothérapie varient suivant que l'on emploie l'électricité statique ou l'électricité dynamique.

Électricité statique. — Le malade qui doit être soumis à ce mode d'électricisation est d'abord

placé sur un plateau, isolé du sol par des pieds en verre, puis il est relié par un CONDUCTEUR à une MACHINE ÉLECTRO-STATIQUE; dès que la machine entre en fonction, le malade se trouve dans des conditions particulières d'influence électrique, qu'on a désignées sous le nom de *bain électrique*. On peut ensuite produire des courants par *souffle* en promenant le long du corps, ou dans le voisinage d'un point particulier, des EXCITATEURS munis d'une pointe. Pour obtenir des ÉTINCELLES et des *chocs*, on se sert d'un excitateur à boule, isolé de l'opérateur par un manche en verre, et relié au sol par une chaîne.

Électricité dynamique. — Les règles à suivre dans l'application des courants diffèrent sensiblement, suivant que l'on emploie les courants continus ou rarement interrompus de la pile (GALVANISATION), ou bien les courants induits (FARADISATION).

a) **Galvanisation.** — On peut employer le courant de la pile de deux manières, suivant qu'il s'agit d'obtenir une action profonde sur les tissus, (*galvanisation continue* ou *interrompue*), ou de déterminer une action chimique violente et même caustique (*électrolyse*).

La *galvanisation continue* ou même interrompue doit toujours être employée avec ménagement, car l'action chimique, qui est impossible à éviter, peut amener l'escarification des points où sont appliquées les ÉLECTRODES. Celles-ci doivent être garnies de tissus humides pour diminuer l'action caustique dans la limite du possible; on emploiera, quand la chose sera pratique, des tampons ou plaques à large surface.

Lorsqu'on agit au voisinage de la moelle, des ganglions cervicaux et de l'œil, il ne faut jamais opérer par secousses et la galvanisation interrompue est absolument proscrite. Du reste, règle générale, et à moins d'indication spéciale, on devra toujours augmenter lentement et sans secousse l'intensité du courant.

Le maximum d'intensité à employer est de 15 à 20 milliampères. Des intensités plus élevées produisent toujours une action locale vive si l'électrisation dure plus que quelques secondes. Aux environs de la tête, il est utile d'aller avec prudence et de ne jamais dépasser 12 à 15 milliampères, tout en prolongeant l'opération, ce qui permet d'obtenir, au point de vue de la quantité d'électricité employée, un effet égal.

Pour l'*électrolyse*, au contraire, à moins de certains cas spéciaux, comme le traitement des anévrysmes, on peut toujours atteindre de très fortes intensités, soit 60, 80 et même plus de 100 milliampères (*Dujardin-Beaumetz*). (V. GALVANOCAUSTIE.)

b) **Faradisation.** — Les courants induits n'ont pu être appliqués rationnellement à la thérapeutique que du jour où Duchenne (de Boulogne), après de nombreuses et laborieuses recherches, est arrivé à créer une nouvelle méthode, qu'il a désignée sous le nom d'*électrisation localisée* et qui l'a mis à même de faire les plus précieuses découvertes dans le champ de la thérapeutique, de la physiologie et de la pathologie.

La méthode d'*électrisation localisée* a pour but d'agir sur l'organe malade sans atteindre les organes voisins, et sans exposer, surtout, le système nerveux tout entier à des excitations sinon dangereuses, au moins très inutiles. S'il s'agit d'exciter un muscle, il faut arriver jusqu'à ce muscle sans troubler les muscles voisins, sans intéresser la peau que le courant traverse; et réciproquement, si la peau seule est en question, il faudra concentrer le fluide sur cette membrane et ne pas aller au delà. Tels sont les principes

théoriques; passons maintenant à l'application pratique dans les différents cas.

1° **Électrisation cutanée.** — La faradisation cutanée se fait de trois manières: avec la main, avec des excitateurs métalliques pleins, ou avec des fils métalliques. — Avec la main, l'opérateur applique sur un point de la peau peu excitable un des conducteurs terminés par une éponge humide; il tient dans une de ses mains l'autre pôle et, de sa main restée libre, il fait des frictions sur les parties qu'il veut exciter. Ce procédé n'est applicable que sur la face; il n'est pas assez puissant pour les autres régions. — La faradisation par les excitateurs pleins s'exécute en promenant plus ou moins rapidement sur la peau des excitateurs de forme cylindrique, olivaire ou conique. Si l'on a besoin de produire sur un point déterminé une vive réulsion, on laisse en place pendant un moment la pointe de l'olive: c'est ce qu'on appelle le *clou électrique*. Ce mode d'électrisation porte surtout sur la peau, même avec un courant peu intense; mais il n'est pas assez puissant pour les endroits où la peau est très épaisse, tels que la paume de la main et la plante des pieds. — Dans la faradisation par les fils métalliques, ceux-ci sont employés sous forme de vergettes ou de balais, enfoncés dans des cylindres qui se glissent sur des manches isolants. On promène ces balais sur la surface cutanée, ou, s'il y a indication précise, on les maintient sur un même point aussi longtemps que le malade peut le supporter. C'est ce qu'on appelle le *mazé électrique*, moyen très énergique et qu'on dit avoir été appliqué avec succès dans les cas de tumeurs blanches et d'engorgements ganglionnaires. Les fils métalliques ainsi disposés augmentent considérablement la force des courants électriques et conviennent dans les cas d'anesthésie profonde, surtout aux mains et aux pieds. Quel que soit, du reste, le mode d'électrisation que l'on emploie, il n'est pas d'agent thérapeutique dont l'action puisse être comparée à celle de la faradisation. Elle seule peut exciter la sensibilité de la peau, soit en procédant rapidement du simple chatouillement à la douleur intense, soit en passant graduellement par tous ces degrés intermédiaires; elle seule peut produire à la peau une excitation que le feu égale à peine, sans désorganiser les tissus, sans même soulever l'épiderme, quelque prolongée que soit l'opération. La sensation qu'elle éveille cesse bruscquement, et presque toujours complètement, dès que l'excitateur n'est plus en contact avec la peau; enfin l'instantanéité de son action permet de porter rapidement la stimulation électrique sur tous les points de la surface du corps.

2° **Électrisation musculaire.** — Des trois espèces d'électricité, la faradisation est encore la seule qui convienne à l'électrisation musculaire, parce que c'est la seule qui puisse être bien localisée sur un muscle en particulier. En outre, elle agit sur la contractilité musculaire sans produire cependant les commotions de l'électricité statique. On distingue deux modes de faradisation: la *faradisation musculaire indirecte*, et la *faradisation musculaire directe*. Pour pratiquer l'une et l'autre, la peau devra préalablement être humide, ou bien il faut employer des conducteurs humides, tels que des éponges mouillées que l'on place dans des cylindres. Ces conditions remplies, on place les excitateurs sur le trajet des muscles ou des nerfs qui les animent. Si le nerf à atteindre se trouve dans un enfoncement étroit et resserré, ou si le muscle ne présente qu'une surface très étroite, au lieu d'éponge on se sert d'un excitateur métallique plus ou moins mince et pointu, que l'on a la précaution de garnir d'un morceau de peau mouillée. — La faradi-

sation musculaire indirecte a pour but de produire des mouvements d'ensemble de tout un membre ou de toute une région; elle s'adresse donc à de gros troncs nerveux ou à des plexus dont il faut connaître très exactement la situation et le trajet. — La faradisation musculaire directe s'adresse aux muscles en particulier ou même à des portions de muscle. Les connaissances anatomiques doivent donc être ici beaucoup plus précises, et l'on comprend qu'il faille une longue habitude pour pouvoir agir avec sûreté et précision. En effet, si l'électrisation locale des différents muscles superficiels est relativement facile, puisqu'il suffit, pour l'opérer, de se rappeler la situation de ces organes et leur direction, il faut, pour atteindre les muscles profonds, avoir une connaissance complète des interstices de ceux qui les recouvrent, qui permettent d'arriver jusqu'à eux. — Les nerfs, dans leurs trajets, tantôt profonds et tantôt superficiels, présentent, pour l'application des courants, des lieux d'élection qu'il n'est pas inutile de rappeler. Ce sont, d'après Duchenne :

Pour les membres supérieurs : le nerf médian, au bras, le long du côté interne du muscle biceps; — le cubital, au-dessous de la gouttière qui sépare l'olécrâne de l'épitrôchlée; — le radial, au-dessus du tiers inférieur externe du bras, point où il se dégage du muscle biceps; — le musculo-cutané, dans le creux de l'aisselle; — le plexus brachial, au-dessus de la clavicule.

Pour les membres inférieurs : le nerf crural, au pli de l'aîne; — le sciatique, dans le bassin, à travers la paroi du rectum; — le nerf péronier, au-dessous de la tête du péroné.

Pour la face : le nerf facial, à travers le cartilage de la paroi inférieure du conduit auditif externe; — les rameaux de ce nerf à leur point d'émergence de la parotide; — la cinquième paire, au sourcil, au-dessous du trou sous-orbitaire, au trou mentonnier, à la surface de la langue ou des parois buccales.

Pour le cou : la branche externe du nerf spinal, au sommet du triangle sus-claviculaire; — le nerf pléanique, au niveau du muscle scapulaire antérieur; — le grand hypoglosse, au niveau de la grande corne de l'os hyoïde; — le glosso-pharyngien et le pneumogastrique, dans le sillon carotidien; — le nerf récurrent, le long du côté externe de la trachée artère.

En outre, chaque muscle, chaque filet nerveux a sa sensibilité propre à la douleur et à l'électricité. M. Duchenne affirme que si l'on arrive à donner à chaque muscle la dose qui lui convient, on produit une contraction énergique et presque sans douleur. Les différents degrés de sensibilité des muscles devront donc être pour le médecin l'objet de sérieuses études, et pour électriser avec fruit et sans danger il faudra sans cesse, pendant l'opération, modifier la graduation de l'appareil et les intermittences des courants suivant la région. De tous les muscles, les plus sensibles à l'excitation électrique sont les muscles de la face.

3^e *Électrisation des organes en particulier.* — Le pharynx, le larynx, l'œsophage, l'estomac peuvent être électrisés au moyen d'instruments qui se rapprochent plus ou moins de la sonde œsophagienne. L'excitateur formant un des pôles et entouré d'une substance isolante est porté dans l'organe, et l'autre pôle est appliqué humide sur la surface cutanée soit du cou, soit des parois thoraciques. — Les poumons, le cœur, peuvent être électrisés par le moyen des nerfs pneumogastriques (inutile de dire que dans ce cas on doit agir avec la plus grande prudence). — Dans les cas d'asphyxie, les courants d'induction appliqués sur les muscles de la respiration

peuvent remplacer les moyens mécaniques usités habituellement et donner même des mouvements d'expansion considérables, à la condition de ne pas faradiser des muscles d'action contraire. D'après Duchenne, si les muscles intercostaux résistent à l'action de puissants courants extérieurs, on ne devrait pas hésiter à agir même sur les nerfs pléaniques pour tâcher d'amener la contraction du muscle diaphragme.

Les organes contenus dans la cavité abdominale peuvent être soumis plus ou moins directement à l'action de l'électrisation. — Pour le rectum et les muscles de l'anus, on introduit dans cet organe un excitateur olivaire et l'on promène l'autre extérieurement aux environs de l'anus. — Pour la vessie, il y a deux procédés. Dans le premier, on place dans le rectum un excitateur olivaire, puis on conduit dans la vessie, préalablement vidée d'urine, une sonde métallique entourée complètement, sauf à ses deux extrémités, d'une sonde extérieure de caoutchouc; on met cette sonde en rapport avec un des pôles de la pile, tandis que l'autre pôle communique avec l'excitateur rectal (au lieu de placer le premier excitateur dans le rectum, on pourrait le promener sur la région hypogastrique). Le second procédé consiste à introduire dans la vessie un excitateur double composé de deux tiges métalliques, isolées l'une de l'autre et enfermées dans une sonde en caoutchouc à double courbe; une fois dans la vessie, les excitateurs métalliques glissent par un mécanisme simple sur la sonde en caoutchouc, leurs extrémités s'écartent et vont ainsi exciter énergiquement les parois de la cavité vésicale. — Pour électriser le col ou même le corps de l'utérus, on fait usage d'un excitateur double, analogue, au moins comme principe, à celui de la vessie. — On a tenté d'agir sur les intestins en plaçant un premier conducteur dans la bouche et un second dans le rectum, mais ce moyen, assez douloureux, n'est pas très employé; il paraît préférable de porter le second excitateur humide sur les parois abdominales. On est arrivé, dit-on, à vaincre ainsi des constipations opiniâtres et même à agir sur l'atraglement de l'intestin.

Quant aux organes des sens, ils sont tous plus ou moins sensibles à l'électrisation. — Pour la vue, c'est un courant de deuxième ordre qu'il faut employer : on place les excitateurs humides sur le trajet des rameaux de la cinquième paire, et surtout sur la paupière, près de la ligne médiane. — Pour l'ouïe, on place un des pôles à la nuque et l'autre dans le conduit auditif externe préalablement rempli d'eau tiède. Un moyen plus direct consiste à introduire dans la trompe d'Eustache un conducteur métallique entouré d'une sonde en caoutchouc, puis à mettre ce conducteur en rapport avec un des pôles, l'autre pôle étant fixé sur la nuque ou à la partie externe du conduit auditif. — Pour le goût, l'odorat, le toucher, un des pôles est placé sur un point fixe extérieur, et l'autre, armé de fils métalliques, est promené sur la langue, dans l'intérieur des fosses nasales ou à la surface de la peau. — Pour tous les organes des sens, excepté pour le toucher peut-être, nous redisons avec Duchenne que l'électrisation doit être faite avec beaucoup de circonspection, car elle retient vivement sur le cerveau. On devra donc mettre l'appareil au minimum, élever graduellement la force du courant et ne jamais produire de douleur. Il sera prudent aussi d'opérer avec un courant à rares intermittences.

Les organes génitaux de l'homme peuvent aussi, dans certains cas, être soumis aux excitations électriques. On introduit un des pôles dans le rectum au niveau des vésicules séminales et l'autre dans la vessie, ou bien sur un point du perinée, et on établit

le courant. On peut encore employer la fustigation avec les fils dissimulés en balai.

A ces divers moyens, d'après lesquels on applique l'électricité au traitement des maladies, on a ajouté, dans ces dernières années, le *BAIN HYDRO-ÉLECTRIQUE* dont l'action paraît se faire sentir sur l'ensemble du système nerveux. On se sert, dans ce but, d'une baignoire isolante (de bois, de caoutchouc, de gutta-percha ou de terre émaillée), dans laquelle on met de l'eau simple ou de l'eau acidulée. Le degré de densité du liquide rend l'action du courant plus ou moins énergique, le maximum d'activité se produisant quand l'eau est tout à fait pure; on peut ainsi établir une sorte de graduation. Le malade étant placé dans la baignoire, on fait plonger dans le liquide les extrémités des deux rhéophores, de telle sorte qu'ils ne soient en contact avec aucune partie du corps. Des contractions se produisent aussitôt dans tous les muscles et plus particulièrement dans telle ou telle région, suivant la place qu'occupent les rhéophores. Des expériences encore peu nombreuses qui ont été faites de ce mode de traitement il paraît résulter qu'au bout de dix à quinze minutes les malades sortent du bain sans éprouver autant de fatigue que s'ils avaient été soumis à l'électrisation localisée.

APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES.

L'électricité a été utilisée comme moyen d'action dans certaines opérations chirurgicales et comme moyen thérapeutique dans la plupart des maladies. Nous ne pouvons naturellement entrer ici dans de longs détails au sujet du traitement de toutes les maladies dans lesquelles l'électricité a été employée. Nous nous contenterons de passer en revue les principales applications *chirurgicales* et *médicales* des diverses formes d'électricité, renvoyant le lecteur qui désirera approfondir davantage la question aux nombreux traités d'électricité médicale et particulièrement au traité très complet du Dr Bardet.

I. — Applications chirurgicales.

L'électricité rend journellement de grands services à la chirurgie en permettant de remplacer avantageusement, dans certains cas, l'instrument tranchant par l'ANSE COUPANTE ou par les lames à formes plus ou moins variées du GALVANOCAUTÈRE. Il devient ainsi possible d'opérer, sans crainte d'hémorragie, certaines tumeurs placées dans des cavités profondes, comme les polypes du nez, de la gorge, de l'utérus, les tumeurs des régions très vasculaires comme la langue, etc.

Galvanocaustique thermique. — L'électricité transformée en chaleur a été utilisée dans la *cautérisation actuelle* pour remplacer les anciens cautères rougis au feu ou même le thermocautère Paquelin. Ce dernier instrument, en effet, présentait déjà de grands avantages sur la vieille méthode de cautérisation au fer rouge, mais si le galvanocaustère exige un outillage plus compliqué que le thermocautère, il offre en revanche sur ce dernier des avantages indiscutables qui le feront préférer dans la plupart des cas. Ainsi, il est possible avec le galvanocaustère de réduire le volume des cautères à des dimensions filiformes, de ne porter sa température au degré voulu qu'au moment précis où l'on veut agir, de l'éteindre instantanément et d'éviter, par conséquent, les effets du rayonnement d'une masse incandescente. (V. GALVANOCAUSTIE ET GALVANOCAUTÈRE.)

Galvanocaustique chimique. — Ce procédé déjà décrit au mot GALVANOCAUSTIE a été utilisé pour remplacer les divers moyens d'application des cautères employés ordinairement dans la *cautérisation potentielle*.

Parmi les nombreuses applications de ce procédé, nous citerons les cas suivants où le galvanocaustique chimique a rendu d'importants services.

1° **Traitement du coryza chronique** et particulièrement du coryza chronique accompagné de puaissia. — M. le Dr Garrigon Desarennes a appliqué avec succès la méthode électrolytique au traitement de ces maladies des fosses nasales et de la trompe d'Eustache. « Avant de faire passer les courants, dit-il, nous plaçons les électrodes sur les points où nous voulons agir; ce n'est qu'alors que nous commençons l'électrolyse par un courant très faible que nous augmentons graduellement dans l'espace d'une minute. Il faut éviter avec le plus grand soin les interruptions brusques, pénibles pour le malade. On y arrive facilement avec la pile au bisulfate de mercure, en opérant progressivement l'immersion du charbon et du zinc accouplés. »

2° **Cautérisation tubulaire.** La cautérisation tubulaire permet de traiter efficacement certaines affections; voici à cet égard l'opinion de M. le Dr d'Arsonval :

Un courant électrique continu, en traversant les tissus, dégage des acides au pôle positif et des bases ou alcalis au pôle négatif. Ce fait a été signalé et appliqué pour la première fois par un médecin italien, Ciniselli, mais sans méthode. M. le Dr Tripier, se fondant sur ce que la cautérisation par les acides laisse des cicatrices dures et rétractiles, tandis que celles produites par les alcalis donne des cicatrices molles et non rétractiles, a imaginé une méthode à laquelle il a donné le nom de cautérisation tubulaire et qu'il emploie pour créer des fistules sans opération sanglante, fistules qui n'auront aucune tendance à se rétrécir et qui permettront de mettre, sans danger, les abcès et les tumeurs des organes profonds en communication avec l'extérieur. Il y voit aussi le moyen de guérir les rétrécissements ou obstructions du canal de l'urètre, du col utérin, des conduits lacrymaux, etc. « Grâce à la cautérisation tubulaire, dit M. d'Arsonval, on peut, sans danger de péritonite, pénétrer dans l'abdomen, dans la matrice, dans l'ovaire, pour en vider lentement mais sûrement les collections purulentes, les kystes, etc. Cette méthode, encore relativement nouvelle, donne d'excellents résultats et on peut lui prédire un grand avenir. »

D'ailleurs, tous les procédés de cautérisation potentielle peuvent être reproduits par le galvanocaustique chimique. Nélaton et Maisonneuve l'ont employé pour détruire des tumeurs assez volumineuses, en faisant joindre aux aiguilles terminales des électrodes le rôle de bâches caustiques.

Une autre méthode de galvanocaustique chimique est celle qui, au lieu de placer le corps vivant dans le circuit extérieur d'une pile, le fait concourir à la formation d'un couple électromoteur dont le circuit extérieur est fermé par un arc très conducteur. Un disque de zinc et un disque de métal peu oxydable étant placés sur deux points différents du tégument et réunis ensuite extérieurement par un arc métallique, des actions chimiques se produiront à la surface de ces disques et sur les parties de la peau en rapport avec eux, actions chimiques tout à fait semblables à celles qui se produisent dans le couple voltaïque : transport d'acide sur le zinc, d'alcali sur le métal moins oxydable, et par suite cautérisation acide sous le zinc, alcaline sous le métal moins oxydable. Avec la précaution d'interposer une compresse mouillée sous le disque de zinc, on évite la cautérisation acide et l'on peut utiliser seulement l'influence topique alcaline de l'autre disque. Celle-ci a paru souvent favoriser un travail réparateur dans les ulcérations anciennes et d'un mauvais aspect. (Bouchut.)

Electrolyse. — La décomposition chimique, en dehors de toute action caustique, a été utilisée dans le *traitement des anévrysmes*, en cherchant à coaguler le sang dans la poche anévrysmale au moyen de deux aiguilles de platine implantées dans la tumeur et communiquant avec les deux pôles d'une pile à couples nombreux et à action chimique faible (Pétrequin, 1835). Abandonnée en France depuis cette époque, cette méthode de traitement des anévrysmes a été remise en honneur en 1877, par le Dr Dujardin-Beaumetz, à l'hôpital Saint-Antoine; puis, par le professeur Ball (même hôpital), les Drs Proust (hôpital Lariboisière), Moutard-Martin (Hôtel-Dieu) et Bureau (hôpital Cochin). Longtemps discuté et attaqué, ce mode de traitement paraît cependant avoir donné, en définitive, sinon la guérison radicale, du moins du soulagement et de l'amélioration dans une affection contre laquelle toutes les autres médications sont impuissantes. Le même mode de traitement a été conseillé pour les tumeurs variqueuses.

L'action analytique des courants continus a aussi été essayée pour provoquer la *dissolution des calculs urinaires*. Mais s'il est en effet possible de désagréger un calcul hors de la vessie, en faisant agir des courants d'intensité et de tension considérables, la chose est moins aisée lorsque le calcul est enfoncé dans la vessie, car l'énergie du courant peut compromettre gravement les parois de cet organe. Il faudrait dans ce cas isoler préalablement le calcul dans une poche en caoutchouc, introduite dans la vessie par un mécanisme spécial (comme cela a été essayé pour la dissolution intravésicale des calculs par les acides concentrés — Pignoni; X. Portiafax) et l'on pourrait alors agir avec plus de sûreté et prévenir les dangers d'une application électrique trop intense.

II. — Applications médicales.

L'électricité a été essayée comme moyen de traitement dans presque toutes les affections du domaine de la pathologie interne, et on s'est adressé tour à tour aux trois formes de l'agent électrique : franklinisation, galvanisation et faradisation. — Il est certain que, dans bien des cas, le choix du genre d'électricité employée n'est pas indifférent et, avant de résumer les principaux résultats obtenus dans un certain nombre d'affections, il nous paraît utile de rappeler au sujet de ce choix les indications générales qui doivent guider le médecin et qui ont été ainsi résumées par le Dr Bardet :

1° L'électricité statique, outre les cas particuliers où, par ses qualités physiques propres, elle conviendra de préférence à tout autre mode d'application, se trouvera indiquée toutes les fois qu'il sera nécessaire de généraliser l'action électrique à tout le corps, soit qu'il s'agisse du simple bain électrique, soit qu'il s'agisse d'excitations locales, que l'on pourra toujours produire facilement par *AIROTTES* ou par *ÉTINGELLES* à l'aide d'excitateurs spéciaux.

2° L'électricité galvanique conviendra dans tous les cas où l'on voudra obtenir une action moléculaire spéciale dans l'intimité même des tissus, à l'effet d'y déterminer un processus profond, agissant probablement dans le sens nutritif.

3° L'électricité induite est particulièrement réservée comme excitateur de mouvements, capable de faire contracter les muscles auxquels on l'applique, et de leur faire exécuter ainsi une gymnastique thérapeutique propre à leur rendre la vitalité; secondairement, par les contractions musculaires opérées dans les muscles, l'électricité induite peut agir énergiquement

sur la distribution des liquides dans les tissus, d'où action sensible sur les processus nutritifs.

Paralysies. — C'est dans cette classe de maladies que l'électrisation a donné les meilleurs résultats, mais c'est ici surtout qu'il a fallu distinguer entre l'action des courants continus et celle des courants induits. En effet, lorsque la paralysie est purement musculaire (action du froid ou de certains poisons), les deux formes d'électricité donnent à peu près les mêmes résultats. Mais lorsque la paralysie est d'origine cérébrale ou spinale, on ne peut employer indistinctement, au moins dès le début, la galvanisation ou l'induction. Cette dernière forme ne pourra être utilisée que lorsque la lésion nerveuse, cause de l'affection, aura été réparée; — à ce moment, en effet, les courants d'induction redonneront aux muscles les propriétés que l'absence de mouvement avait diminuées et mettront le membre en état d'obéir à la volonté. Les courants continus, au contraire, exerçant une action générale sur la nutrition, pourront être employés avec avantage beaucoup plus tôt. C'est ainsi que dans l'embolie cérébrale on a pu favoriser la circulation collatérale en activant la circulation cérébrale par un courant galvanique de six à dix éléments. (*Chéron.*)

Les formes de paralysie d'origine cérébrale dans lesquelles l'électrisation a donné de bons résultats sont : les paralysies par *tumeur*, *hémorragie* ou *ramollissement cérébral* (Marshall-Hall), — la *paralysie générale des aliénés* (Brière de Boismont), — la *paralysie du voile du palais*, *de la langue et des lèvres*. — la *paralysie diphrétique*.

Dans les paralysies d'origine spinale, la contractilité musculaire, au lieu de rester intacte comme dans les paralysies cérébrales, est beaucoup diminuée et souvent abolie. L'électrisation peut alors ramener cette contractilité, à la condition que la lésion-cause soit réparée, car lorsque les troubles de nutrition persistent, tout traitement devient inutile.

Dans la *sclérose ascendante* (ataxie locomotrice) les courants continus donnent aussi des résultats importants. Un courant ascendant, appliqué sur la colonne vertébrale, stimule les éléments nerveux restés intacts et supplée ainsi ceux qui sont dégénérés. On a vu des ataxiques traités par ce moyen à une époque peu éloignée du début de la maladie amenés à une guérison complète. Il survient, chez quelques ataxiques, des congestions passives, des stases de la circulation cérébrale accompagnées de céphalalgie et de difficultés plus grandes dans la marche; la galvanisation du sympathique modifie avantageusement ces différents troubles. (*Chéron.*)

Le tremblement de la *paralysie agitante* a pu être diminué et même guéri par la galvanisation du bulbe et le passage d'un courant d'une main à l'autre. Le tremblement a chance de guérir d'autant mieux et d'autant plus vite qu'il est moins ancien. (*Chéron.*)

La *paralysie musculaire atrophique* (atrophie musculaire progressive) a pu, dans certains cas, être combattue efficacement par un traitement électrique. On a essayé la faradisation; mais le Dr Boudet de Paris a eu souvent à observer des cas d'atrophie musculaire qui avaient été soumis pendant deux ou trois mois au traitement par la faradisation et chez lesquels la maladie, au lieu de rétrocéder ou même de s'arrêter, avait suivi une marche envahissante. Le massage électrique très violent auquel les nerfs moteurs et les muscles avaient été exposés avait déterminé la fatigue et l'impuissance du système nerveux et du tissu musculaire. Au contraire, en se servant du courant continu, le mouvement chimique opéré par celui-ci

permettait à la machine musculaire de reconstituer chimiquement son tissu; et il a pu suivre, dans un grand nombre de cas, les progrès de cette reconstitution par la mensuration des membres atrophiés. Après un mois de traitement il a souvent constaté que la circonférence d'un membre atrophié avait gagné de 1 à 2 centimètres.

La *paralysie consécutive aux lésions traumatiques d'un nerf mixte* est une des affections les plus heureusement traitées par l'électricité; mais il est de la plus haute importance d'établir des différences suivant les cas. Si, les mouvements volontaires étant abolis, la contractilité électrique persiste, le traitement doit être commencé immédiatement. Si, au contraire, la contractilité électrique a disparu, ainsi que les mouvements, on doit attendre que la lésion nerveuse soit guérie; la faradisation n'a de chances de succès qu'à cette condition. Chaque muscle doit être faradisé d'une manière spéciale. Les courants doivent être d'autant plus intenses, les intermittences d'autant plus rapides, que les lésions auront été plus profondes. Il faut craindre toutefois de fatiguer les organes; les séances ne se prolongeront jamais plus de dix à quinze minutes, et l'on diminuera l'intensité des courants à mesure que la sensibilité reparaitra.

Dé ces paralysies par causes locales, que l'électricité guérit presque constamment, nous rapprochons les *paralysies saturnines, rhumatismales, l'hémiplégie faciale ou paralyse de la septième paire* (de cause non cérébrale), certains cas d'*aphonie nerveuse*. Dans tous ces cas la faradisation donne les plus heureux résultats; dans la paralysie rhumatismale la guérison est même la règle presque absolue.

Névralgies. — L'électricité, sous quelque forme qu'on l'emploie, peut rendre des services contre les névralgies et contre l'élément *douleur* en général. Mais encore faut-il ici, comme dans les paralysies, que la cause première ait disparu pour que l'effet sédatif de l'électricité soit durable.

Il existe deux procédés de faradisation. Le premier, dû à Becquerel, consiste à exciter les nerfs au moyen de courants à faible tension, et par l'intermédiaire d'excitateurs humides, de façon à ne pas provoquer de douleur. Le second, au contraire, employé par le Dr Tripiier, produit une véritable réulsion par l'application d'électrodes métalliques, telles que le balai à fils d'archal, sur la peau préalablement séchée, et en employant des courants de haute tension (bobine à fil fin). Ce dernier procédé est certainement douloureux, mais il est rapide et, dans beaucoup de cas, suivi de la disparition de la maladie.

Lorsqu'on veut employer les courants continus pour le traitement des névralgies, il faut, ainsi que le dit Bouchut, se rappeler que certaines névralgies s'accompagnent d'une sorte de congestion et sont caractérisées par le séjour au lit et la chaleur, tandis que d'autres, au contraire, s'aggravent sous l'influence du froid. Les premières sont facilement guéries par les courants continus appliqués sur le trajet des nerfs, au niveau des points douloureux de Valleix (courant descendant). L'intensité du courant doit être relativement faible, c'est-à-dire quatre à huit éléments à la face, douze à vingt sur les autres parties du corps. Les secondes guérissent moins vite que les premières sous l'influence des courants continus; mais on a remarqué que certains médicaments qui n'avaient donné aucun résultat avant l'application des courants continus en avaient produit d'excellents après ce mode de traitement qui semblait avoir développé une sorte de réceptivité.

On peut rapprocher de la faradisation le traitement

des névralgies par la méthode du *perkinisme* (du nom de son inventeur, le Dr Perkins, de Plainfeld, dans l'Amérique méridionale). Ce moyen, qui est jadis une vogue immense, dit Rabuteau, se pratiquait de la manière suivante: on exerçait un attouchement sur les parties souffrantes, ou dans le voisinage de ces parties, avec deux aiguilles composées chacune d'un métal différent, de laiton et de fer, dont l'une était terminée en pointe et l'autre arrondie à son extrémité. On s'en servait surtout dans le but de provoquer de l'analgésie, de calmer les migraines, l'odontalgie, les douleurs rhumatismales, ostéocopes. S'agissait-il d'une céphalalgie, on promenait l'appareil sur la région frontale, sur la région temporale, ou bien de l'occiput à la nuque, après avoir soigneusement nettoyé la tête du malade; dans les rhumatismes des membres, c'était le long de l'humerus, du radius, du fémur qu'on pratiquait la même opération. Le procédé de Perkins fut bientôt connu en Europe, dans le Danemark d'abord, où il fut apporté par une femme de ce pays qui en avait observé les résultats en Amérique. Les succès attribués à ce procédé, le caractère de singularité qu'il offrait, le mirent bientôt à la mode. On fabriqua des aiguilles d'argent, de cuivre, de plomb, d'ébène, d'ivoire, etc.; les dames en portaient toujours avec elles. « Partout on préconisait, on idolâtrait Perkins comme on avait préconisé et idolâtré Mesmer. » Les principaux effets du perkinisme consistent en une excitation momentanée de la douleur sur les points où l'on applique les aiguilles; puis cette douleur artificielle est suivie d'un soulagement et parfois de la cessation des symptômes auxquels on se proposait de remédier. Les médecins de Copenhague seraient parvenus ainsi à calmer les douleurs vagues résultant de la goutte et du rhumatisme, ainsi que des hémicrânes, des odontalgies. Pour expliquer les effets du perkinisme, on peut admettre qu'il se produit des actions chimiques, et par conséquent de l'électricité, lorsque les aiguilles métalliques sont appliquées sur la peau qui est toujours plus ou moins humide. En effet, on trouve dans les écrits sur la question que les aiguilles faites de substances non métalliques, d'ivoire, par exemple, étaient inactives.

Affections diverses. — Parmi les maladies générales, les *névroses* devaient naturellement être traitées par l'électricité; mais il faut se défier des résultats obtenus dans ces affections presque toutes d'origine hystérique, où les moyens thérapeutiques employés agissent surtout par l'ingénuation du sujet. Dans l'*épilepsie*, le Dr Onimus dit avoir employé, avec un succès relatif, l'électrisation galvanique très modérée du ganglion cervical supérieur; les courants induits étaient en même temps employés pour exciter les nerfs péripnéuriques.

En ce qui concerne le *tétanos*, voici l'opinion du Dr Onimus (*Guide électrothérapeutique*): « Les courants continus, d'après des expériences faites sur les animaux, ont toujours été considérés comme pouvant être utiles dans le tétanos. Appliqués sur le malade, ils ont pour premier effet d'amener le relâchement des muscles contracturés et de procurer ainsi, pendant tout ce temps, un grand bien-être au malade. Le chloral, qui peut être administré en même temps avec avantage, calme le malade, l'endort, mais n'empêche pas les contractures, ce qui est, au contraire, le propre des courants continus. Les courants doivent surtout être appliqués à direction descendante sur la colonne vertébrale, c'est-à-dire que l'on placera le pôle positif sur la nuque et le pôle négatif au niveau des dernières vertèbres lombaires. »

La *chlorose* et l'*œdémie*, d'une façon générale, paraissent avoir été modifiées très avantageusement par l'influence de la machine électrique (bain électrique). Dès que la machine commence à fonctionner, dit le Dr Boudet de Paris, le malade se trouve littéralement imprégné d'électricité et, comme de nouvelles doses d'électricité lui sont fournies au fur et à mesure de l'écoulement de celle-ci dans l'atmosphère ambiante, il est plongé dans une sorte d'effluve continu. L'action immédiate de cette sorte d'électrisation est naturellement généralisée et se porte sur tous les nerfs de la peau (nerfs sensibles et vaso-moteurs). Mais si cette action est toute périphérique, elle n'en détermine pas moins des réactions secondaires internes qui sont d'un grand secours pour certaines affections générales. C'est ainsi que chez tous les aigüiques on voit s'amender rapidement les symptômes de dépression ou d'hyperexcitabilité nerveuse, dès que les fonctions de la peau, excitée par le bain électrique, commencent à se régulariser. Nombre de femmes et de jeunes filles délicates sont ainsi journellement tirées d'un état de torpeur organique plus vite et plus sûrement qu'avec l'emploi du fer et des autres médicaments anti-anémiqnes. Aussi le bain électrostatique est-il le traitement tonique par excellence.

Parmi les *maladies articulaires*, les *entorses*, les *hyarthroses* et les *arthrites chroniques* ont été combattues avec succès par les courants continus. C'est dans le traitement du *rhumatisme noueux* que le Dr Cléron paraît avoir obtenu les plus beaux résultats. « Les douleurs disparaissent ou s'affaiblissent en un petit nombre d'applications. Certaines ankyloses, alors que l'atrophie ne s'est pas complètement emparée des articulations, peuvent céder sous leur influence. Les encroûtements calcaires, les contractures, les rétractions et les atrophies musculaires que fait naître le rhumatisme noueux, sont toujours amendés et souvent guéris par ce mode de traitement. En outre de l'action locale, ces courants exercent sur l'économie tout entière une action puissante qui ranime les fonctions languissantes et met l'organisme en état de réagir contre la dyscrasie, en imprimant à la nutrition une impulsion qui lui manque, ce qui tend non-seulement à enrayer la maladie, mais encore à la guérir. Les preuves de cette action générale, au point de vue clinique, ressortent de la disparition de la plupart des complications viscérales qui accompagnent le rhumatisme noueux, et de l'amélioration rapide de la santé des rhumatisants. »

Dans les maladies des *systèmes vasculaires* et *respiratoires* l'électrisation a rendu d'importants services lorsque, par suite de *syncope* ou d'*asphyxie*, la mort paraissait imminente.

Ainsi, dans la syncope survenant pendant l'anesthésie pratiquée à l'aide du chloroforme, on a pu ramener à la vie des malades contre lesquels les moyens ordinaires de réusision avaient échoué. On peut dans ce cas employer la faradisation, en plaçant les électrodes sur le nerf phrénique de chaque côté du cou, entre les acéfalons antérieurs et les sternomastoidiens, ou bien en appliquant une électrode sur le nerf pléanique et l'autre au creux de l'estomac. Lorsqu'on veut employer la galvanisation, on peut, à l'exemple du Dr Onimus, placer le pôle négatif dans la bouche et le pôle positif dans le rectum; on obtient ainsi une galvanisation ascendante de tout le corps. En employant dans ce cas trente ou quarante éléments de la pile (Znimas), on obtient une intensité de huit à dix millièmes qui est largement suffisante.

Au nombre des affections du *système digestif* nous pouvons citer comme ayant été traitées par l'électricité, la *paralysie de l'œsophage* (Demarquay,

Bulletin thérapeutique, 1880), la *dilatation de l'estomac*, la *constipation*, la *hernie étranglée* (Murari, *Et Sighi medico*, n° 1356), enfin l'*occlusion intestinale*. Cette dernière affection contre laquelle l'électricité a été souvent employée, depuis le premier succès de Leroy d'Étiolles en 1826, est aujourd'hui traitée de préférence par la galvanisation, dont l'action sur les muscles lisses de l'intestin a été constatée d'une façon indiscutable. Le Dr Boudet de Paris, à qui nous devons d'avoir établi, dans ces dernières années, d'une manière régulière le traitement de l'occlusion intestinale, applique le pôle positif sur la paroi abdominale au moyen d'une très large plaque humide; le pôle négatif est appliqué dans le rectum au moyen d'une sonde métallique creuse, ajustée au bout d'un tube en caoutchouc d'un irrigateur, et enfoncée elle-même dans une sonde en gomme. Grâce à cette disposition ingénieuse, le courant est transmis par l'intermédiaire du liquide injecté dans l'intestin, et on évite l'escarre qui pourrait se produire sur la muqueuse au point de contact de l'électrode. Le courant ne doit pas généralement dépasser dix à quinze millièmes, car on est obligé souvent de continuer l'application pendant des heures. Pour augmenter l'intensité des contractions intestinales, le Dr Boudet, se servant d'une batterie au peroxyde de manganèse (de Gaiffe), place trois rhéophores émanant du pôle positif sur l'abdomen, le rhéophore négatif étant toujours dans le rectum, et au lieu de laisser passer le courant d'une façon permanente, il opère avec deux éléments, et une fois toutes les demi-minutes environ, une fermeture du courant suivie immédiatement de l'ouverture (courants labiles des auteurs). Dans les deux observations publiées par le Dr Boudet en 1880, l'évacuation des selles a été obtenue au bout de un et deux jours de galvanisation appliquée en plusieurs séances.

Pour les maladies du *système génito-urinaire* l'électrisation n'a pas toujours donné de bons résultats; néanmoins les *paralysies de la vessie* ont été améliorées par l'application des courants continus (pôle négatif dans la vessie et pôle positif sur l'abdomen). — On a obtenu de même quelques succès dans l'*incontinence d'urine* par la faradisation du sphincter, dans l'*hydrocèle* par la galvano-puncture, dans l'*orchite* par la galvanisation (Dr Pleut, de Tours), dans la *spermatorrhée* et les *pollutions nocturnes* par la faradisation sur la région périmérale et par la cautérisation électrolytique du canal de l'urètre (Onimus), dans l'*impuissance* chez l'homme par la galvanisation négative intense de la partie inférieure de la moelle et par la faradisation du périnée.

Dans le traitement des *métrites chroniques* les courants continus peuvent apporter un concours important non seulement par la modification qu'ils impriment à la circulation altérée de l'organe, mais encore en atténuant l'état douloureux que l'on observe en même temps du côté de l'appareil ovarien. Les catarrhes du col et du corps sont aussi modifiés et souvent guéris par la même application. Le pôle positif est mis en contact avec l'orifice du col, l'autre excitateur étant placé sur l'hypogastre, (Cléron).

Pour certains cas d'*hémorrhagie utérine* la faradisation, et mieux la galvanisation ont pu activer les contractions de l'utérus et arrêter cet accident quelquefois redoutable, comme dans les hémorragies fébriles après l'accouchement.

Dans le groupe des *maladies des organes des sens* l'électricité n'a donné que des résultats incertains pour les maladies de l'*oreille*, sauf cependant chez les sujets atteints de demi-surdité par suite du mauvais fonctionnement de la chaîne des osselets. Dats

ces cas la franklinisation (de Maulhuyl, Dr Arluis) a fourni tout autant de succès que la faradisation généralement employée aujourd'hui; elle paraît même, dans certains cas, mieux supportée par les malades.— Dans les affections oculaires l'électrothérapie paraît avoir accompli dans ces dernières années un progrès sérieux, surtout depuis les magnifiques travaux du Dr Gillet de Grandmont, qui est parvenu, par l'application de courants descendants, appliqués quatre à cinq minutes dans le voisinage de l'œil et à des intervalles de plusieurs jours, à obtenir la guérison complète dans des cas de cécité reconnue. Lorsqu'il y a une cataracte confirmée, le Dr Gillet dit n'avoir jamais obtenu de modification sérieuse; mais d'autre part le Dr William B. Nefel, à New-York, rapporte qu'il a soumis une dame, âgée de soixante-trois ans, atteinte de cécité par suite d'une cataracte, à des applications répétées d'électricité dans le voisinage de l'œil malade, et que la vue a été complètement recouvrée en peu de temps.

En ce qui concerne les maladies de la peau, nous trouvons dans le *Times* du 27 avril 1880 que M. Moncorvo a eu l'idée d'appliquer l'électricité au traitement de l'éléphantiasis, maladie de peau commune au Brésil. Il a d'abord eu recours aux courants induits et a obtenu, chez plusieurs malades, une diminution considérable de l'enflure de la jambe et de la cuisse,

mais non une guérison complète. Il a ensuite employé une combinaison de courants induits et continus, et il paraît que, dans un certain nombre de cas, l'inflémité a disparu. Il explique le fait en disant que les courants continus adoussent et liquéfient jusqu'à un certain point les tissus endurcis, tandis que les courants intermittents occasionnent une réabsorption des tissus ainsi préparés.

Enfin plusieurs médecins aliénistes ont mis à profit l'effet moral produit, sur les êtres animés, par les courants d'induction. Ainsi, en soumettant à l'action de ces courants des fous qui refusaient obstinément de prendre la moindre nourriture, on a pu vaincre leur entêtement. C'est un moyen analogue à celui qui consiste à compter certains animaux vicieux par l'application des courants faradiques. (V. FERRAGE DES CHEVAUX PAR L'ÉLECTRICITÉ.)

Pour résumer les indications de l'électrothérapie nous donnons ci-après un tableau des affections diverses traitées par les courants électriques. Dans ce tableau, publié d'après le Dr Fournel, le trait indique le courant ou les courants utilisés. Dans un grand nombre de cas les deux méthodes ont donné des résultats analogues: les deux traits indiquent alors la prépondérance de l'une de ces méthodes. Le signe CC signifie galvanocautique chimique; le signe GT signifie galvanocautique thermique.

TABLEAU DES AFFECTIONS DIVERSES TRAITÉES PAR LES COURANTS ÉLECTRIQUES

AFFECTIONS DIVERSES.	TRAITEMENT.		AFFECTIONS DIVERSES.	TRAITEMENT.	
	INDUCTION.	COURANTS CONTINUS.		INDUCTION.	COURANTS CONTINUS.
CŒUR.			APPAREIL GÉNITO-URINAIRE CHEZ L'HOMME ET CHEZ LA FEMME.		
Palpitations nerveuses.			Coliques néphrétiques.		
Angine de poitrine.			Paralyse de la vessie.		
Goutte ophtalmique.			Incontinence d'urine.		
Anévrisme.	CC	CC	Spasmes de la vessie.		
APPAREIL RESPIRATOIRE.			— de l'urètre.		
Phtisie pulmonaire.	GT	GT	Rétrécissements.	CC	CC
Coryza chronique.			Spermatorrhée.		
Ozène.	CC	CC	Faiblesse génitale.		
Paralyse du larynx.			Aménorrhée.		
Aphonie rhumatismale.			Dysménorrhée.		
Spasmes de la glotte.			Déviation utérines.		
Coqueluche.			Atonie de la matrice, avant, pendant, après l'accouchement.		
Asthme.			Tumeurs fibreuses de l'utérus.		
APPAREIL AUDITIF.			APPAREIL D'INNERVATION.		
Oblitération de la trompe d'Eustache.	CC	CC	Méningite spinale.		
Polypes du conduit auditif.	CC	CC	Sclérose de la moelle.		
APPAREIL DIGESTIF.			Ataxie locomotrice (bains électriques).		
Oesophagisme.			Atrophie musculaire progressive.		
Rétrécissement de l'œsophage.			Sclérose musculaire progressive.		
Dilatation de l'estomac.	CC	CC	Névrite.		
Crampes de l'estomac.			Epilepsie.		
Gastralgie.			Catalepsie.		
Vomissements nerveux.			Hystérie.		
Occlusion intestinale.			Hémiplegie.		
Entéralgie.			Paralyse agitante (bains électriques).		
Colique sèche.			Chorée (bains électriques).		
Coliques de plomb.			Tétanos.		
— de cuivre.			Folie.		
— hépatiques.					

AFFECTIIONS DIVERSES.	TRAITEMENT.		AFFECTIIONS DIVERSES.	TRAITEMENT.	
	INDUCTION.	COURANTS CONTINUS.		INDUCTION.	COURANTS CONTINUS.
NERFS PÉRIPHÉRIQUES.					
Migraine			Déviation de la taille.		
Névralgie faciale (trijumeau)			Soins consécutifs à toutes les déviations du squelette, luxations anciennes ou récentes, telles que : coxalgie, genu-valgum, entorse, déviations de l'épaule		
— cervico-occipitale			MALADIES CONSTITUTIONNELLES.		
— intercostale			Scrofule		
— du plexus lombaire			Anémie		
— du plexus sacré (sciatique)			Diabète		
Anesthésie de la face			ORGANES.		
Tic convulsif non douloureux			Paralyse des nerfs : auditif		
Tétanie des extrémités			optique		
Crampes des cervinaux			Ptosis, synéchies, troubles amaurotiques, occlusion de la pupille		
Névroses professionnelles			AFFECTIIONS CUTANÉES.		
Paralyse faciale			Zona		
— infantile			Éléphantiasis		
Névralgie utérine			Lichen		
— vésico-urétrale			Lupus		
APPAREIL LOCOMOTEUR.			Scélérodermie		
Spina ventosa et, en général, toute affection du tissu osseux dans laquelle il faut atteindre le tissu malade	G T	G T	Anasarque		
Paralysies consécutives à : la fièvre typhoïde			ACCIDENTS ET MORT.		
la diphtérie			Asphyxie		
la scarlatine, variole			Syncope		
le choléra, etc.			Détermination de la mort réelle		
Fatigue musculaire					
Atrophie musculaire consécutive à des déviations du squelette					
Lombago					
Rhumatisme musculaire					
Rhumatisme noueux					
Rachitisme					
Goutte, rhumatismes					

Nous ne citerons que pour mémoire les prétendues expériences d'introduction des médicaments dans l'organisme par l'électricité; les médecins qui ont affirmé autrefois qu'il était possible de réaliser ce phénomène, soit par l'étincelle électrique, soit par un procédé analogue à la GALVANOPLASTIE, n'ont jamais pu reproduire leurs expériences devant les commissions nommées pour vérifier le fait.

Il en est de même de l'extraction des matières minérales contenues dans l'organisme. C'est, nous dit Bouchut, dans une baignoire tubulaire de métal, isolée du sol, que Poyy étend le malade sur un banc de bois, de manière qu'il ne soit pas en contact avec la baignoire. Celle-ci est en communication avec le pôle négatif d'une pile de trente couples, tandis que le patient tient à la main un excitateur humide en rapport avec le pôle positif de la pile. Si l'on agit d'extraire du mercure, de l'argent ou de l'or, le bain est acidulé avec de l'acide azotique ou avec de l'acide chlorhydrique; si c'est du plomb que l'on veut retirer, avec de l'acide sulfurique. Le courant, traversant le corps dans toutes ses parties, entraînerait de partout le métal; il le déposerait ensuite sur toute la surface de la baignoire, mais toujours plus abondamment sur la paroi située en regard de la région dans laquelle on doit supposer que l'agent toxique

était localisé. — Quoi qu'il en soit, ces résultats n'ont jamais pu être reproduits devant des témoins compétents.

DIAGNOSTIC PAR L'ÉLECTRICITÉ.

L'électricité a été employée comme agent sémiologique au point de vue médical et au point de vue chirurgical.

Médecine. — Dans les affections nerveuses, l'application de la faradisation peut nous renseigner sur le degré de perte de sensibilité d'une région, en comparant la sensation éprouvée par la partie malade avec celle d'une partie saine du corps.

Dans les troubles de motilité, la faradisation peut nous indiquer la nature de la paralysie, car la contractilité musculaire demeure intacte dans les paralysies cérébrales, tandis qu'elle se montre diminuée et même abolie dans les paralysies d'origine spinale.

L'électricité a été employée pour reconnaître la mort réelle. Le procédé proposé par Bonney en 1866 consiste à appliquer successivement sur tous les muscles un courant d'une très grande énergie, de manière à provoquer des contractions musculaires si la mort n'est qu'apparente. Le Dr Hardet se fondant sur

ce que la contractilité musculaire est toujours anormale dans la catalepsie et dans la léthargie, propose d'employer de préférence l'électricité statique en déchargeant une bouteille de Leyde, fortement chargée, le long de la colonne vertébrale; l'énergie d'une pareille méthode est telle qu'il serait difficile d'admettre qu'il ne se produisit pas une réaction quelconque si le sujet n'était qu'en état de mort apparente.

Chirurgie. — Les courants électriques ont été utilisés en chirurgie pour constater la présence d'un corps étranger métallique dans les tissus. Pour obtenir ce résultat, on peut se servir de l'EXPLORATEUR de M. Trouvé, qui consiste dans une sonde en matière isolante contenant deux tiges métalliques reliées à la pile d'un électro-aimant trembleur. On introduit la sonde dans la plaie, au fond de laquelle on suppose que se trouve le corps étranger, et si l'extrémité des deux tiges métalliques vient à toucher un corps bon conducteur, une bulle de fusil par exemple, le circuit de la pile est fermé et le trembleur manœuvre à l'instar d'une sonnerie électrique.

Un autre appareil, fondé sur un principe différent, a été utilisé dans le même but : c'est la BALANCE D'INDUCTION de Hughes, qui offre l'avantage de ne pas nécessiter l'introduction d'un explorateur dans la plaie et de donner des indications à distance. Dans cet appareil, qui a été essayé pour la première fois sur le président des États-Unis, Garfield, on opère de manière à agir en même temps et en sens contraire, par deux bobines dont la RÉSISTANCE est bien équilibrée, sur un TÉLÉPHONE qui ne peut parler que lorsque l'un des courants influents augmente ou diminue d'intensité. Si l'on approche une des bobines de la région du corps où se trouve un projectile (corps métallique), l'équilibre est rompu et le téléphone pourra se faire entendre. En outre, comme l'intensité du bruit téléphonique est d'autant plus grande que le corps métallique est plus rapproché, il est facile de comprendre qu'on pourra se rendre compte de la profondeur à laquelle le projectile se trouve dans les tissus.

Enfin, le chirurgien anglais Thompson a employé l'électricité pour reconnaître la présence des calculs dans la vessie. Il se sert, dans ce but, d'un MICROPHONE auquel est adapté une sonde métallique. Lorsque l'extrémité de la sonde introduite dans la vessie vient toucher un corps dur, il se produit une vibration sonore qui se transmet au microphone, lequel est intercalé dans le circuit d'un téléphone. L'onde sonore est amplifiée en devenant onde électrique, et le téléphone donne un bruit aigu très perceptible. On peut donc, au moyen de cet instrument, acquiescer la certitude de l'existence, dans la vessie, de calculs assez petits pour échapper aux autres modes d'investigation ordinaires. D^r X. PORTAFAX.

THERMO-CHIMIE. — On a désigné sous ce nom l'étude de la chaleur dégagée par les combinaisons chimiques.

Favre, Silbermann et Berthelot ont déterminé au moyen du calorimètre les chaleurs de combinaison d'un grand nombre de réactions chimiques. Ces études ont une grande importance, attendu que, l'électricité fournie par une pile résultant d'une réaction chimique, il existe une relation entre la FORCE ÉLECTROMOTRICE de cette pile et le nombre de calories dégagées ou absorbées par les réactions des substances chimiques mises en présence.

Connaissant les réactions qui se produisent dans un couple, les équivalents électro-chimiques et le nombre de calories produites par ces réactions, on peut déterminer d'avance la force électromotrice de ce

couple, d'après la méthode suivante empruntée aux travaux de M. Reynier et de M. H. Fontaine.

1^o **Équivalents électro-chimiques.** — L'équivalent électro-chimique d'un corps quelconque est la quantité de ce corps mise en liberté par le passage de 1 COULOMB dans un ÉLECTROLYTE, c'est-à-dire dans un composé chimique de ce corps qui, étant en dissolution ou en fusion, peut être décomposé sous l'action d'un COURANT ÉLECTRIQUE. Pour calculer l'équivalent électro-chimique d'un corps, il faut connaître l'équivalent chimique de ce corps rapporté à l'hydrogène et multiplier cet équivalent chimique par la quantité d'hydrogène libéré par 1 coulomb d'électricité traversant un électrolyte. Cette quantité, qui est constante, est égale à environ 0,0104 milligramme, ou 0 gr.0000104. (Les différents auteurs qui se sont occupés de déterminer cette constante ne sont pas entièrement d'accord. Ainsi M. Mascart a trouvé 0,010115, M. Kohlrausch 0,010531, lord Rayleigh, MM. Roscoe et G. B. Prescott 0,010284.)

De sorte que, si l'on désigne par h l'équivalent chimique du corps considéré par rapport à l'hydrogène, l'équivalent électro-chimique sera :

$$A \times 0,0000104 \text{ grammes.}$$

Réciproquement, pour produire 1 coulomb d'électricité en faisant entrer en combinaison un corps quelconque, il faudra employer un poids de ce corps égal à son équivalent électro-chimique.

2^o **Nombre de calories dégagées par un équivalent électro-chimique entrant en combinaison.** — Quand le poids d'un corps égal à son équivalent électro-chimique (0,0000104 h) entre en combinaison, il se dégage 0,0000104 C calories (C étant le nombre de calories que comporte la combinaison d'un équivalent chimique du corps considéré). Ce nombre de calories correspond à un travail qui, exprimé en kilogrammètres, est égal à :

$$0,0000104 \cdot C \cdot 424.$$

424 étant l'équivalent mécanique de la chaleur.

3^o **Travail produit par 1 coulomb ou dépensé dans une réaction chimique pour obtenir un coulomb.**

Le travail produit par un courant électrique est exprimé par la formule :

$$T = \frac{EI}{g};$$

T étant un nombre de kilogrammètres, E un nombre de volts, I un nombre de coulombs et g l'accélération due à la pesanteur.

Si I = 1, $T = \frac{E}{g}$, et ce nombre T exprimera le travail produit par 1 coulomb.

Or, comme on a calculé plus haut le nombre de kilogrammètres dépensés dans une réaction chimique pour produire 1 coulomb, on peut poser :

$$\frac{E}{g} = 0,0000104 \cdot C \cdot 424,$$

d'où

$$E = 0,04725 \cdot C \text{ volts,}$$

formule qui permet de calculer la force électromotrice d'un couple connaissant la quantité de calories produite par les réactions qui y prennent naissance.

Applications. — Proposons-nous de calculer la force électromotrice de la pile Daniell.

Les réactions bien connues qui interviennent dans cette pile sont : 1^o la décomposition d'un équivalent de sulfate de cuivre qui absorbe 29,50 calories; 2^o la

formation d'un équivalent de sulfate de zinc qui produit 53,25 calories.

La quantité de chaleur dégagée est donc égale à 53,25—29,60 ou 23,65 calories.

Et en appliquant la formule, on a :

$$E = 0,04325 \times 23,65 \text{ volts} = 1,022 \text{ volt.}$$

On voit que, pour faire des calculs de ce genre, il faut préciser exactement les réactions et distinguer celles qui concourent à produire de la chaleur des réactions secondaires qui, au contraire, en absorbent. Les tableaux qui suivent et qui sont empruntés à l'ouvrage de MM. Cadiat et Dubost, *Traité pratique d'électricité industrielle*, résument les expériences

faites par un grand nombre de savants et permettent justement d'appliquer la formule générale $E = 0,04325 C$.

Ainsi, en reprenant l'exemple précédent, nous trouvons que la formation du sulfate de zinc dans la pile Daniell comprend d'abord l'oxydation du zinc et ensuite la combinaison de cet oxyde avec l'acide sulfurique. Or, on trouve dans le tableau I que la chaleur de formation de l'oxyde de zinc (hydraté) est de 41,8 calories, et dans le tableau II que la transformation de cet oxyde en sulfate donne 41,7 calories. Total, 53,5 calories, nombre égal à celui qui figure plus haut dans le calcul de la force électromotrice de la pile Daniell.

TABLEAU I. — Chaleur dégagée par la formation des principales combinaisons chimiques.

NOMS.	ÉLÉMENTS COMPOSANTS.	ÉQUIVALENTS CHIMIQUES.	NOMBRE DE CALORIES DÉGAGÉES (Kilog. degrés) PAR ÉQUIVALENT DU COMPOSÉ.	
			État solide.	État dissous.
FORMATION DES OXYDES.				
Eau	H + O	9	"	34,5
Polasse	K + O + HO	56,1	69,8	82,1
Soude	Na + O + HO	40	67,8	77,6
Ammoniaque	Az + H ² + 2HO	35	"	21,0
Chaux	Ca + O + HO	37	73,5	75,05
Magnésie	Mg + O + HO	29	74,9	"
Alumine	Al + O ³ + 3HO	78,4	65,3 × 3	"
Sesquioxyde de fer (hydraté)	Fe + O	36	34,5	"
Peroxyde de fer (hydraté)	Fe ² + O ³	80	31,9 × 3	"
Oxyde de nickel (hydraté)	Ni + O	37,5	30,7	"
Oxyde de cobalt (hydraté)	Co + O	37,5	32,0	"
Oxyde de zinc (anhydre)	Zn + O	40,5	43,2	"
— (hydraté)	Zn + O + HO	49,5	41,8	"
Oxyde de plomb (anhydre)	Pb + O	111,5	25,5	"
— (hydraté)	Pb + O + HO	120,5	26,7	"
Protoxyde de cuivre	Cu ² + O	71,4	21,0	"
Bioxyde de cuivre (anhydre)	Cu + O	39,7	19,2	"
— (hydraté)	Cu + O + HO	48,7	19,0	"
Protoxyde d'étain (hydraté)	Sn + O	67,0	34,9	"
Bioxyde d'étain (hydraté)	Sn + O ²	75,0	67,9	"
Protoxyde de mercure	Hg ² + O	208,0	21,1	"
Bioxyde de mercure	Hg + O	108,0 ¹	15,5	"
Protoxyde de manganèse (hydraté)	Mn + O	35,5	47,4	"
Bioxyde de manganèse (hydraté)	Mn + O ²	43,5	58,1	"
Oxyde antimonieux (hydraté)	Sb + O ³	156,0	88,7	"
Oxyde antimonique	Sb + O ⁵	154,0	121,3	"
Oxyde d'argent	Ag + O	116,0	3,5	"
Sesquioxyde d'argent	Ag ² + O ³	240,0	10,5	"
Protoxyde de platine	Pl + O	107,0	7,5	"
Oxyde de bismuth	Bi + O ³	234,0	68,9	"
FORMATION DES CHLORURES.				
Chlorure de potassium	K + Cl	74,6	105,0	100,8
— de sodium	Na + Cl	58,5	97,3	96,2
— d'ammonium	Az + H ² + Cl	53,5	76,7	72,7
— de calcium	Ca + Cl	55,5	85,1	93,8
— d'aluminium	Al ³ + Cl ³	132,9	53,6 × 3	79,3 × 3
— de fer	Fe + Cl	63,5	41,0	50,0
— de fer (fer)	Fe ² + Cl ³	161,5	32,0 × 3	42,6 × 3
— de zinc	Zn + Cl	68,0	48,6	56,4
— de magnésium	Mg + Cl	47,5	— 75,5	93,5

NOMS.	ÉLÉMENTS COMPOSANTS.	ÉQUIVALENTS CHIMIQUES.	NOMBRE DE CALORIES DÉGAGÉES (kilog. degrés) PAR ÉQUIVALENT DU COMPOSÉ.	
			État solide.	État dissous.
FORMATION DES CHLORURES. (Suite).				
Chlorure de manganèse.....	Mn + Cl	63,0	56,0	64,0
— de plomb.....	Pb + Cl	139,0	42,6	39,2
— de nickel.....	Ni + Cl	65,0	37,3	46,8
— d'étain.....	Sn + Cl	94,5	40,2	40,0
— d'étain (bi).....	Sn + Cl ²	130,0	64,6 (liq.)	78,7
— d'or (proto).....	Au ³ + Cl	232,5	5,8	"
— d'or (per).....	Au ³ + Cl ³	309,5	22,8	27,3
— de cuivre (proto).....	Cu ² + Cl	98,9	38,6	"
— de cuivre (bi).....	Cu + Cl	67,2	25,8	31,3
— de mercure (proto).....	Hg ² + Cl	235,5	40,9	"
— de mercure (bi).....	Hg + Cl	135,5	31,4	29,8
— d'argent.....	Ag + Cl	143,5	29,2	"
— de bismuth.....	Bi + Cl ³	316,5	90,6	"
Protochlorure de platine et de po- tassium.....	Pt + Cl + KCl	209,4	22,6	20,9
Bichlorure de platine et de potassium.	Pt + Cl ² + KCl	244,6	44,7	42,3
FORMATION DES BROMURES.				
Bromure de potassium.....	K + Br	119,4	90,4	91,0
— de sodium.....	Na + Br	103,0	86,7	86,4
— de calcium.....	Ca + Br	100,0	71,8	84,0
— d'ammonium.....	Az + H ³ + Br	98,0	67,2	62,9
— d'aluminium.....	Al ³ + Br ³	267,4	40,2 × 3	68,2 × 3
— de zinc.....	Zn + Br	112,5	39,1	46,0
— de plomb.....	Pb + Br	183,5	34,5	29,5
— d'étain (stanneux).....	Sn + Br	139,0	31,5	"
— d'étain (stannique).....	Sn + Br ²	219,0	50,7	39,0
— cuivreux.....	Cu ² + Br	143,4	26,0	"
— cuivrique.....	Cu + Br	111,7	17,4	21,5
— mercurique.....	Hg + Br	480,0	25,9	24,25
— d'argent.....	Ag + Br	188,0	23,7	"
— d'or (aureux).....	Au ³ + Br	277,0	1,0	"
— d'or (aurique).....	Au ³ + Br ³	437,0	12,1	8,1
FORMATION DES IODURES.				
Iodure de potassium.....	K + I ₂	166,1	80,0	74,7
— de sodium.....	Na + I ₂	130,0	68,8	70,1
— d'ammonium.....	Az + H ³ + I ₂	145,9	50,6	47,1
— de calcium.....	Ca + I ₂	147,0	53,9	67,0
— d'aluminium.....	Al ³ + I ₂ ³	408,4	23,4 × 3	53,7 × 3
— de zinc.....	Zn + I ₂	159,5	24,6	30,3
— de plomb.....	Pb + I ₂	230,5	21,0	"
— cuivreux.....	Cu ² + I ₂	190,4	16,5	"
— mercurieux.....	Hg ² + I ₂	327,0	23,8	"
— mercurique.....	Hg + I ₂	227,0	17,0	"
— d'argent.....	Ag + I ₂	250,0	19,7	14,3
— d'or (proto).....	Au + I ₂	324,0	— 5,5	"
FORMATION DES CYANURES.				
Cyanure de potassium.....	Cy + K	65,1	67,6	64,7
— de sodium.....	Cy + Na	49,0	60,4	59,9
— d'ammonium.....	Cy + Az + H ³	44,0	40,5	36,1
— de calcium.....	Cy + Ca	46,0	"	57,7
— de zinc.....	Cy + Zn	58,5	29,3	"
— de mercure.....	Cy + Hg	426,0	11,9	10,4
— d'argent.....	Cy + Ag	144,0	3,6	"
— de mercure et de potassium.....	HgCy + KCy	191,1	8,8	6,2
— d'argent et de potassium.....	AgCy + KCy	199,1	11,2	"

NOMS.	ÉLÉMENTS COMPOSANTS.	ÉQUIVALENTS CHEMIQUES.	NOMBRE DE CALORIES DÉGAGÉES (kilog. degrés) PAR ÉQUIVALENT DU COMPOSÉ.	
			État solide.	État dissous.
FORMATION DES SULFURES.				
Sulfure de potassium.....	K + S	55,1	54,1	56,2
— de sodium.....	Na + S	29,0	44,2	51,6
— d'ammonium.....	Az + H ⁺ + S	34,0	"	28,4
— de calcium.....	Ca + S	36,0	46,0	49,0
— de fer.....	Fe + S	44,0	41,9	"
— de magnésium.....	Mg + S	28,0	39,8	"
— de zinc.....	Zn + S	48,5	21,5	"
— de nickel.....	Ni + S	45,5	9,7	"
— de plomb.....	Pb + S	119,5	8,9	"
— de cuivre (proto).....	Cu ⁺ + S	72,0	10,1	"
— de cuivre (bi).....	Cu ⁺ + S	47,5	5,1	"
— de mercure.....	Hg + S	116,0	9,9	"
— d'argent.....	Ag + S	124,0	1,5	"
FORMATION DES PRINCIPAUX ACIDES.				
Acide azotique (anhydre).....	Az + O ₃	54,0	- 0,6 (gaz). 1,8 (liq.).	44,3 44,3
— (hydraté).....	Az + O ₃ + HO	63,0	- 0,1 (gaz). 7,1 (liq.).	44,3 44,3
— (2 ^e hydraté).....	AzO ⁺ H + 2HO	99,0	5,0 (liq.).	44,3
Acide sulfureux.....	S + O ₂	32,0	34,6 (gaz). 45,9 (gaz).	38,4 70,5
Acide sulfurique (anhydre).....	S + O ₃	40,0	51,8 (sol.).	70,5
— (monohydraté).....	S + O ₃ + HO	49,0	62,0 (liq.).	70,5
— (bihydraté).....	SO ⁺ H + HO	58,0	5,1 (liq.).	"
Acide carbonique.....	C + O ₂	22,0	46,5 (gaz).	51,3
— chlorhydrique.....	H + Cl	36,5	25,0 (gaz).	30,4
— bromhydrique.....	H + Br	81,0	9,5 (gaz).	29,5
— iodhydrique.....	H + I	128,0	- 6,2 (gaz).	13,2
— cyanhydrique.....	Cy (gaz) + H	27,0	7,8 (gaz).	13,1
— sulfhydrique.....	H + S	17,0	2,3 (gaz).	4,6

TABLEAU II. — Formation des principaux sels, dans l'état dissous ou précipité, au moyen des acides dissous.

NOMS DES BASES.	SYMBOLES.	NOMBRE DE CALORIES DÉGAGÉES.							
		AZOTATES AZO ⁺ H.	ACÉTATES C ⁺ H ₃ O ₂ .	OXALATES 1/2C ⁺ H ₂ O ₄ .	SULFATES SO ⁺ H.	CARBONATES CO ⁺ .	CHLORURES HCl.	SULFURES HS.	CYANURES C ⁺ H.
Soude.....	NaO	13,7	13,3	14,3	15,85	10,2	13,7	3,85	2,9
Potasse.....	KO	13,8	13,3	14,3	15,7	10,1	13,7	3,85	3,0
Ammoniaque.....	AzH ₃	12,5	12,0	12,7	14,5	5,3	12,45	3,1	1,3
Chaux.....	CaO	13,9	13,4	14,5 (pr.)	15,6	9,8 (pr.)	14,0	3,9	3,2
Baryte.....	BaO	13,9	13,4	15,7	18,4 (pr.)	11,1	13,85	"	3,2
Protoxyde de fer.....	FeO	"	9,9	"	12,5	5,0	10,7	7,3	"
Oxyde de nickel.....	NiO	"	"	"	13,1	"	11,3	"	"
— de zinc.....	ZnO	9,8	8,9	12,5	11,7	5,5	9,8	9,6	7,3 (pr.)
— de plomb.....	PbO (ét.)	7,7	6,5	12,8	10,7 (pr.)	6,7	7,7	13,3	"
— de cuivre.....	CuO	7,5	6,2	"	9,2	2,4	7,5	15,8	"
— de mercure.....	HgO (pr.)	"	3,0	7,0	"	"	9,45	24,35	15,5

Méthode de M. D. Tommasi. — M. D. Tommasi emploie pour calculer la force électromotrice des piles une méthode ayant pour point de départ une loi qu'il appelle la loi des constantes thermiques.

Voici la note qu'il nous a remise à ce sujet :

Pour calculer la force électromotrice des piles par la méthode des constantes thermiques, il est nécessaire de connaître tout d'abord les relations numériques qui existent entre certaines données thermiques. Ces diverses relations numériques peuvent s'exprimer par la loi suivante :

Lorsqu'un métal se substitue à un autre dans une solution saline, le nombre des calories dégagées est, pour chaque métal, toujours le même, quelle que soit la nature du radical acide qui fait partie du sel (1).

Le zinc, par exemple, en se substituant au cuivre dans le sulfate de cuivre, dégage 50,6 calories (2); or, la substitution du zinc au cuivre, dans tout autre composé cuivrique soluble dégagera toujours cette même quantité de chaleur.

Si l'on prend le cadmium au lieu du zinc, on trouve 33,8 calories, et cette valeur thermique sera la même pour tous les sels de cuivre. Il en serait de même pour tous les métaux pouvant se substituer, non seulement dans une solution cuivrique, mais encore dans une solution saline quelconque.

D'autre part, on sait, d'après les principes de la thermo-chimie, que les calories dégagées par la substitution du zinc au cuivre dans le sulfate de cuivre sont égales à la différence des calories de formation du sulfate de zinc et du sulfate de cuivre :

$$\begin{aligned} (\text{SO}^{\cdot}\text{Cu} + \text{Zn} = \text{SO}^{\cdot}\text{Zn} + \text{Cu}; 50,6 \text{ cal.}) \\ = (\text{SO}^{\cdot}\text{Zn} - \text{SO}^{\cdot}\text{Cu} = 50,6 \text{ cal.}) (3). \end{aligned}$$

D'après les principes que je viens d'exposer, il doit s'ensuivre que si la différence des chaleurs de combinaison entre le sulfate de zinc et le sulfate de cuivre est égale à 50,6 calories, ce nombre représentera aussi la différence des chaleurs de combinaison entre le chlorure de zinc et le chlorure de cuivre, le bromure de zinc et le bromure de cuivre, etc.

D'une manière générale, si l'on désigne par R, R', R'',... les radicaux acides et par M, M', M'',... les métaux, on aura :

$$\text{ORM} - \text{ORM}' = \text{OR}''\text{M} - \text{CR}''\text{M}'.$$

En me fondant sur ces considérations, j'ai dressé le tableau ci-après, à l'aide duquel on peut déterminer *a priori* la chaleur de combinaison de tous les sels solubles minéraux et organiques.

J'ai obtenu ce tableau en retranchant de la chaleur de combinaison du chlorure de potassium dissous les chaleurs de combinaison des autres chlorures également dissous.

Ainsi le chiffre 88,8 calories, placé dans le tableau vis-à-vis du zinc, exprime la différence des chaleurs de combinaison entre :

$$2 \times \text{OClK} - \text{OCl}^{\cdot}\text{Zn} = 88,8.$$

Le chiffre 4,6 calories, placé vis-à-vis du sodium, exprime la différence entre :

$$\text{OClK} - \text{OCl}^{\cdot}\text{Na} = 4,6.$$

On aurait pu également obtenir ce même tableau en prenant la différence des chaleurs de combinaison entre les bromure, iodure, sulfate, etc., de potas-

(1) Cette loi, que j'ai découverte en 1887, est connue généralement sous le nom de loi des constantes thermiques.

(D. Tommasi.)

(2) Cette valeur numérique, ainsi que toutes les autres

sium et les bromure, iodure, sulfate, etc., des autres métaux.

Tableau des constantes thermiques de substitution.

(Formule générale : $\lambda = \pm 8 \pm 4$)

λ = sel dont on cherche la chaleur de combinaison.
 \pm = chaleur de combinaison du sel de potassium ayant le même radical acide que le sel λ .
 \pm = constante thermique correspondant à la base du sel λ .

VALEUR DE λ PAR RAPPORT AUX POIDS MOLÉCULAIRES DES SELS DISSOUS.

(H²O = 18)

Sels de lithium.....	4,4 cal.
— de sodium.....	+ 4,6
— d'argent.....	87,4
— de thallium.....	62,3
— de magnésium.....	44,6
— de baryum.....	436,2 — x (4)
— de strontium.....	6,0
— de calcium.....	44,0
— de zinc.....	88,8
— de cadmium.....	405,4
— d'aluminium.....	43,3 ou 3 x 43,3
— de manganèse.....	73,5
— de fer (proto).....	404,5
— de fer (per).....	116,4 ou 3 x 116,4
— de nickel.....	408,0
— de cobalt.....	406,8
— de cuivre.....	139,0
— de mercure.....	442,0
— de plomb.....	423,2
— d'étain.....	420,4
— d'étain (bi).....	44,2
— d'or.....	147,0

CALORIES DE COMBINAISON DES PRINCIPAUX SELS POTASSIQUES DISSOUS.

(H²O = 18)

Fluorure de potassium.....	91,4 cal.
Chlorure.....	400,8
Bromure.....	91,0
Iodure.....	74,7
Cyanure.....	64,7
Chlorate.....	96,0
Perchlorate.....	90,4
Iodate.....	96,8
Azotate.....	96,1
Azotite.....	91,4
Sulfate.....	496,0
Sulfite.....	496,4
Chromate.....	189,2
Bichromate.....	191,4
Acétate.....	95,6
Glycolate.....	96,0
Picrate.....	96,0
Etc., etc.	

Applications. — Je vais maintenant montrer, par quelques exemples pris au hasard, l'exactitude de la loi et en même temps indiquer comment il faut se servir du tableau des constantes thermiques.

contenues dans cet article, se rapporte aux poids atomiques (O = 16) et non pas aux équivalents (O = 8). (D. Tommasi.)

(3) Le signe \pm placé devant un sel indique la chaleur de combinaison de ce sel.

(4) Chaleur de combinaison du baryum avec l'oxygène Ba + O, non encore déterminée.

Soit à déterminer la chaleur de combinaison du sulfate de cuivre dissous. D'après la formule générale, on aurait :

$$\text{SO}^{\circ}\text{Cu} = \text{SO}^{\circ}\text{Cu}^* - \theta_{\text{Cu}}$$

$$\text{SO}^{\circ}\text{Cu} = 186,0 \text{ cal.} - 139,0 \text{ cal.} = 57,0 \text{ cal.} \text{ trouvé} = 56,8 \text{ cal.}$$

Pour la chaleur de combinaison de l'azotate de cadmium, on aurait :

$$\text{O}(\text{AzO}^{\circ})\text{Cd} = 2 \times \text{AzO}^{\circ}\text{K} - \theta_{\text{Cd}}$$

$$\text{O}(\text{AzO}^{\circ})\text{Cd} = 2 \times 96,1 \text{ cal.} - 103,4 \text{ cal.} = 89,8 \text{ cal. tr.} = 86,6 \text{ cal.}$$

Pour la chaleur de combinaison de l'iodure de calcium, on aurait :

$$\text{O}^{\circ}\text{Ca} = 2 \times \text{IK} - \theta_{\text{Ca}}$$

$$\text{O}^{\circ}\text{Ca} = 2 \times 74,7 \text{ cal.} - 14,0 \text{ cal.} = 135,4 \text{ cal.} \text{ trouvé} = 135,4 \text{ cal.}$$

Je pourrais, certes, multiplier ces exemples, mais ce serait tout à fait superflu. En faisant usage de ma formule générale et en suivant les indications que j'ai données, il sera facile de contrôler, de déterminer ou de prévoir les chaleurs de formation de tous les sels solubles. Je vais maintenant montrer comment on peut appliquer la loi des constantes thermiques au calcul de la force électromotrice de toutes les piles dans lesquelles la totalité de l'énergie chimique est convertible en énergie électrique.

Soient d'abord les piles à deux liquides. Lorsqu'une pile est formée par deux métaux plongeant chacun séparément dans la solution d'un de leurs propres sels, et que ces sels ont le même acide ou le même corps halogène, la force électromotrice de ce couple est égale à la différence des constantes thermiques de ces métaux divisée par le volt exprimé en calories ou V.

Si l'on désigne par E_p la force électromotrice d'une pile se trouvant dans les conditions que je viens d'indiquer et par θ , θ' les constantes thermiques des deux métaux, on aura l'expression très simple suivante :

$$E_p = \frac{\theta - \theta'}{V}$$

Le volt correspond à 44,3 calories.)

Il faut remarquer que les quatre premiers métaux contenus dans le tableau sont monoatomiques et que tous les autres sont diatomiques. Les constantes θ et θ' appartiennent donc à des métaux de l'une ou de l'autre de ces catégories; les deux métaux d'une pile peuvent être monoatomiques ou diatomiques. Il s'ensuit que chaque fois que la constante thermique d'un de ces derniers entre dans la formule ci-dessus, il faut doubler la constante thermique du métal monoatomique.

Il en est de même lorsque les deux métaux qui composent le couple sont monoatomiques.

Ainsi, je suppose qu'il s'agit de trouver la force électromotrice des couples sodium-argent, magnésium-sodium, zinc-magnésium, on aura :

Sodium-argent :

$$E_p = \frac{2 \times 87,4 - 2 \times 4,6}{46,3} = 3,57 \text{ volts.}$$

Magnésium-sodium :

$$E_p = \frac{14,6 - 2 \times 4,6}{46,3} = 0,14 \text{ volt.}$$

Zinc-magnésium :

$$E_p = \frac{88,8 - 14,6}{46,3} = 1,60 \text{ volt.}$$

Des deux métaux, celui dont la constante thermique est la plus faible constitue le pôle négatif du couple et est aussi celui qui se dissout, tandis que l'autre constitue le pôle positif et s'accroît par le dépôt résultant de la décomposition de son sel.

Il ressort de la loi énoncée précédemment que : La force électromotrice de toute pile formée de deux métaux demeure constante, quel que soit l'acide ou le corps halogène de leurs deux sels.

Ainsi, par exemple, pour un couple cadmium-zinc, la force électromotrice sera toujours :

$$E_p = \frac{105,4 - 88,8}{46,3} = 0,36 \text{ volt,}$$

que les sels employés soient des sulfates, ou des chlorures, des acétates, etc.

La formule générale de la force électromotrice de tout couple formé de deux métaux A et B est donc :

$$E_p = \frac{\theta_A - \theta_B}{V} = x \text{ volts.}$$

J'appliquerai maintenant cette formule au calcul d'un couple dont la force électromotrice est bien déterminée par l'expérience, c'est-à-dire du couple Daniell.

Comme on le sait, ce couple est formé d'un cuivre et d'un zinc, chaque métal plongeant dans la dissolution de son propre sulfate.

D'après ce qui vient d'être dit, la force électromotrice sera :

$$E_p = \frac{\theta_{\text{Cu}} - \theta_{\text{Zn}}}{V}$$

ou :

$$E_p = \frac{139,0 - 88,8}{46,3} = 1,081 \text{ volt.}$$

Si l'on calcule la force électromotrice de ce même couple Daniell par la méthode ordinaire, c'est-à-dire par la méthode des équivalents électro-chimiques (v. plus haut), voici la marche que l'on suit :

Connaissant la nature des réactions qui se produisent dans la pile, on emploie la formule $E = 4,16 \frac{g}{z}$, dans laquelle g est l'équivalent électro-chimique du corps dégagé par l'électrolyte, et z la quantité de chaleur en calories (g - z) dégagée par 1 gramme de ce corps pour passer à l'état de la combinaison chimique de l'électrolyte.

Dans la pile de Daniell, il se produit deux actions distinctes : dissolution du zinc dans l'acide sulfurique et dépôt de cuivre par suite de la décomposition du sulfate de cuivre. Il y a donc d'un côté dégagement, et de l'autre, absorption de chaleur, et la force électromotrice de l'élément est égale à la différence de ces deux actions.

Évaluant la première, c'est-à-dire la chaleur dégagée par gramme de zinc dissous, ou 1.670 calories, g étant ici égal à 0,0003412, on trouve :

$$E_d = 4,16 \times 0,0003412 \times 1670 = 2,37 \text{ volts.}$$

Pour la seconde, c'est-à-dire la chaleur absorbée par le dépôt de cuivre, ou 881 calories par gramme, g étant égal à 0,0003107, il vient :

$$E_a = 4,16 \times 0,0003107 \times 881 = 1,21 \text{ volt.}$$

La force électromotrice de la pile de Daniell est donc alors :

$$E_p = E_d - E_a = 2,37 - 1,21 = 1,16 \text{ volt (1).}$$

(1) En appliquant la formule $E_p = E_d - E_a$, M. D. Tommasi trouve que la force électromotrice de la pile de Daniell est de 1,16 volt, tandis que nous avons trouvé plus haut, en appliquant la formule générale $E = 0,0432 \cdot C$ volts, que cette même force électromotrice est de 1,081. Ces différences proviennent de ce que les savants ne sont pas encore d'accord sur certains chiffres. Ainsi, d'après M. Berthelot, la formule générale serait $E = 0,0431 \cdot C$ volts; elle donnerait pour la force électromotrice du couple Daniell 1,075 volt. Ce désaccord n'influe en rien le travail de M. D. Tommasi, que nous avons cru intéressant de faire connaître.

On voit que cette méthode de calcul est bien loin d'être aussi simple et aussi rapide que celle qui découle de ma loi des constantes thermiques, et il est en outre facile de reconnaître qu'elle ne fournit point de résultats aussi exacts que cette dernière.

En effet, le chiffre pratique accepté pour la force électromotrice du couple Daniell est 1,079 volt; si l'on rapporte à cette valeur les chiffres théoriques fournis pour chacune des deux méthodes, il ressort de cette comparaison que celui qui est donné par la méthode des équivalents électro-chimiques est de 7,5 % trop fort, tandis que le chiffre obtenu par la méthode des constantes thermiques ne dépasse le chiffre expérimental que de 0,46 %.

Je vais maintenant montrer comment on doit calculer la force électromotrice des piles à un seul liquide.

Lorsqu'une pile est formée par un seul liquide, sa force électromotrice est égale à la différence des constantes thermiques du métal attaqué et de l'hydrogène dégagé divisée par le volt exprimé en calories.

La constante thermique de l'hydrogène est égale à 61,5 calories.

Cette valeur a été obtenue, comme toutes les autres constantes thermiques, en retranchant de la chaleur de combinaison du chlorure de potassium dissous la chaleur de combinaison du chlorure d'hydrogène ou acide chlorhydrique également dissous. Si l'on représente par \circ la chaleur de combinaison de ces composés, on aura pour la constante thermique ou t de l'hydrogène :

$$\circ \text{ClK} - \circ \text{ClH} = t_{\text{H}}$$

En remplaçant ces symboles par leur valeur numérique l'on aura :

$$106,5 \text{ cal.} - 39,3 \text{ cal.} = 61,5 \text{ cal.}$$

Je suppose maintenant que l'on veuille déterminer la force électromotrice du couple zinc-cuivre et acide sulfurique dilué.

D'après la formule générale on aurait :

$$E_p = \frac{t_{\text{H}} - t_{\text{Zn}}}{V}$$

ou :

$$E_p = \frac{2 \times 61,5 - 88,8}{46,3} = 0,7386 \text{ volt.}$$

La force électromotrice de ce même couple trouvée par expérience directe est égale à 0,81 volt.

Si la valeur trouvée expérimentalement est plus forte que celle indiquée par la théorie, c'est que l'hydrogène dégagé pendant la décomposition de SO_4H^2 (et non pas de H_2O comme on le pense généralement) est absorbé partiellement par le cuivre, ce qui donne lieu à un dégagement de chaleur qui, en se transformant en énergie électrique, s'ajoute à la force électromotrice primitive du couple et en accroît l'intensité. En effet, la force électromotrice du couple zinc-cuivre et acide sulfurique dilué varie non seulement avec la nature du métal inactif, mais encore suivant l'état physique de celui-ci, et c'est ce qui explique pourquoi la force électromotrice de ce couple n'a pas été trouvée la même par les divers expérimentateurs qui se sont occupés de cette détermination.

En général, la force électromotrice d'un couple quelconque $\text{M} - \text{M}$ est d'autant plus forte que la quantité d'hydrogène absorbé par le métal inactif est plus

grande, et l'on peut se convaincre de ce fait par l'examen du tableau suivant :

Soit le couple : $(\text{Zn-M}) + \text{SO}_4\text{H}^2\text{Aq.}$

Zinc-cuivre.....	0,81	volt.
— argent.....	1,24	—
— charbon.....	1,26	—
— platine.....	1,44	—

Il est à observer que la force électromotrice du zinc-platine n'est pas exacte, attendu qu'il résulte de mes expériences (1) que cette force électromotrice est bien inférieure à celle du couple zinc-charbon. Ce fait, que j'ai constaté le premier, a été depuis confirmé par Berthelot et d'autres savants.

Il ressort du principe précédemment énoncé que la force électromotrice d'une pile à un seul liquide est la même, quelle que soit la nature de l'acide employé, et qu'elle ne dépend que du métal attaqué.

On doit cependant faire une exception pour les acides qui peuvent être réduits par l'hydrogène, ou plus exactement par $\text{H} + \text{cal.}$ (2), comme ce serait le cas pour l'acide chromique, nitrique, etc.

Pour montrer maintenant l'exactitude du principe que je viens d'énoncer, je prendrai quelques exemples. Et tout d'abord je dirai que la force électromotrice d'un couple à un seul liquide s'obtient en prenant la différence entre la chaleur de combinaison du sel et de l'acide (et non pas de l'eau, comme on la fait à tort) et divisant ensuite le résultat obtenu par le volt.

Dans le cas du couple $(\text{Zn-M}) + \text{SO}_4\text{H}^2\text{Aq.}$ on aurait :

$$E_p = \frac{\circ \text{SO}_4\text{Zn} - \circ \text{SO}_4\text{H}^2}{V}$$

La chaleur de combinaison de l'acide sulfurique, ou plus exactement de $\text{SO}_4 + \text{H}^2$, est égale, d'après la loi, à 73,0 calories, et celle du sulfate de zinc à 167,2 calories, et par conséquent on aurait :

$$E_p = \frac{167,2 - 73,0}{46,3} = 0,7386 \text{ volt.}$$

La chaleur de combinaison des autres acides, ou plus exactement la chaleur de combinaison de l'hydrogène avec les halogènes ou les radicaux acides s'obtient, d'après la loi des constantes thermiques, en retranchant des calories de combinaison des sels solubles de potassium la constante thermique de l'hydrogène 61,5 calories.

Ainsi la chaleur de combinaison de $\text{SO}_4 + \text{H}^2$ dissous est égale à :

$$\circ \text{SO}_4\text{K}^2 - 2 \times t_{\text{H}} = \circ \text{SO}_4 + \text{H}^2 \\ 196,0 \text{ cal.} - 2 \times 61,5 \text{ cal.} = 73,0 \text{ cal.}$$

L'acide bromhydrique aurait pour chaleur de combinaison :

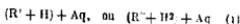
$$\circ \text{BrK} - t_{\text{H}} = 61,0 \text{ cal.} - 61,5 \text{ cal.} = 29,5 \text{ cal.}$$

Les autres acides auraient pour calories de combinaison les valeurs suivantes :

(1) Sur la force électromotrice du couple zinc-charbon. (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, juin 1885.)

(2) On pensait autrefois expliquer ces sortes de réductions en admettant un état spécial, je dirai presque mystérieux de l'hydrogène : l'état nascent. Depuis 1878 j'ai démontré que l'hydrogène, au moment où il se quitte avec combinaison, doit ses propriétés réductrices non pas à son état nascent, mais à la quantité de chaleur qui se dégage lorsqu'il est mis en liberté. (D. Tommasi.)

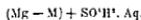
CALORIES DE COMBINAISON DES PRINCIPAUX ACIDES À L'ÉTAT DISSOUS.



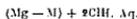
	CALORIES		
	CALCULÉES (2).	TROUVÉES (3).	
Acide chlorhydrique.....	Cl + H.....	39,3	39,3
— bromhydrique.....	Br + H.....	29,5	29,5
— iodhydrique.....	I + H.....	13,2	13,2
— perchlorique.....	ClO ⁴ + H.....	34,9	
— chlorique.....	ClO ³ + H.....	34,5	
— sulfurique.....	SO ⁴ + H ²	72,0	
— chromique.....	CrO ³ + H ²	66,2	
— acétique.....	(C ² H ³ O ²) + H.....	34,1	
— oxalique.....	(C ² O ⁴) + H.....	70,2	
— pierique.....	(C ² H ² (NO ²) ² O) + H.....	34,8	

Ces calories n'ont pas encore été déterminées.

Il s'agit maintenant de démontrer qu'un même couple donne toujours la même force électromotrice avec n'importe quel acide, pourvu que celui-ci, comme je l'ai déjà dit, ne soit pas réduit par l'hydrogène; soit, par exemple, le couple magnésium-platine plongeant dans diverses solutions acides, on aura, en négligeant les effets de polarisation, les forces électromotrices suivantes :



$$\circ SO^4Mg - \circ SO^4H^2 = \frac{181,4 - 72,0}{46,3} = 2,341 \text{ volts.}$$



$$\circ Cl^2Mg - 2 \times \circ ClH = \frac{187,0 - 2 \times 39,3}{46,3} = 2,341$$

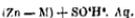


$$\circ (C^2H^3O^2)^2Mg - 2 \times \circ C^2H^3O^2 = \frac{176,0 - 2 \times 34,1}{46,3} = 2,341$$

Comme l'on voit par ces exemples, la force électromotrice du couple magnésium-métal demeure la même quelle que soit la solution acide dans laquelle il plonge.

Si l'on prenait le zinc au lieu du magnésium, on aurait une force électromotrice différente, mais qui serait la même pour tous les acides servant de liquide excitateur.

En effet :



$$\circ SO^4Zn - \circ SO^4H^2 = \frac{107,2 - 72,0}{46,3} = 0,7386.$$



$$\circ Cl^2Zn - 2 \times \circ ClH = \frac{112,8 - 2 \times 39,3}{46,3} = 0,7386.$$



$$\circ (C^2H^3O^2)^2Zn - 2 \times \circ C^2H^3O^2 = \frac{102,4 - 2 \times 34,1}{46,3} = 0,7386.$$

Je dois faire observer que ces calculs ne seraient plus exacts si le métal inactif était attaqué par le liquide; tel serait le cas, par exemple, des couples zinc-cuivre, zinc-aluminium, etc., plongeant dans l'acide chlorhydrique, bromhydrique, etc.

Influence de l'électrode positive de la pile sur la quantité de calories transmissibles au circuit sous forme d'énergie chimique. — M. D. Tommasi a constaté ce fait singulier, que la force électromotrice

d'un même couple variait suivant que son électrode positive était en platine ou en charbon.

Tel couple, par exemple, qui était incapable de produire l'électrolyse de l'eau ou d'une solution saline, bien que les calories dégagées par le couple fussent supérieures aux calories absorbées par la décomposition de l'électrolyte, si son électrode positive était en platine, devenait apte à produire cette décomposition si son électrode positive était en charbon. Voici quelques exemples :

Un couple magnésium-platine et acide sulfurique étendu devrait, selon les données thermiques, décomposer l'eau; en effet le nombre de calories dégagées par l'action du magnésium sur l'acide sulfurique dilué (112 calories) est supérieur au nombre de calories de décomposition de l'eau (69 calories). Cependant la décomposition n'a pas lieu.

Il en est de même si l'on substitue au platine de la pile le cuivre ou l'argent; mais si l'on emploie dans ce couple, comme électrode positive, un cylindre de graphite ou de charbon de corne, l'électrolyse de l'eau a lieu.

Le même fait s'observe avec le couple suivant :

Zinc amalgamé, acide sulfurique étendu; vase poreux contenant : acide chromique, 25 grammes, eau 50 centimètres cubes, acide sulfurique 10 centimètres cubes.

Dans ces conditions ce couple dégage 117,3 calories; mais il n'en transmet au circuit, sous forme d'énergie électrique, que 65 calories.

Si l'on substitue dans ce couple à la tige de platine le charbon ou la mousse de platine, on peut rendre transmissibles au circuit 85 calories, soit 20 calories en plus du couple précédent.

THERMO-ÉLECTRICITÉ. — Électricité développée par la chaleur. — Partie de la physique qui traite de l'électricité développée par la chaleur.

Quand deux métaux sont soudés ensemble de façon à former un circuit fermé, si l'une des jonctions est plus échauffée que l'autre, il se manifeste dans le circuit un courant électrique dont la direction et l'intensité dépendent de la nature des métaux, de la différence des températures des deux soudures et de la moyenne de ces températures. Ce phénomène a été découvert par Seebeck (V. PILE THERMO-ELECTRIQUE). M. Edison a imaginé une machine destinée à produire de l'électricité par la transformation directe de la chaleur; elle est décrite au mot THERMO-MAGNÉTISME.

THERMO-ÉLECTRIQUE (Chaîne). — Quand deux métaux sont réunis par un troisième métal de façon à former un circuit, la force électromotrice est la même que si les deux premiers métaux étaient réunis

(1) R' = radical acide ou halogène monatomique.

R' = radical acide ou halogène diatomique.

(2) D'après la loi des constantes thermiques.

(3) Par MM. Thomson et Berthelot.

directement, pourvu que les deux soudures avec le troisième métal soient à la même température. Ainsi, en considérant trois couples thermo-électriques formés chacun d'antimoine et de bismuth, on peut relier par un fil de cuivre l'antimoine du premier couple avec le bismuth du dernier, et la force électromotrice sera la même que si ces deux éléments étaient directement soudés. On peut aussi remplacer le fil de cuivre par une chaîne de métaux plus complexes, sans changer la force électromotrice, pourvu que toutes les jonctions, sauf celle des deux métaux considérés, soient à la même température. Cette observation permet d'expérimenter un couple thermo-électrique en observant le courant qui passe à travers un circuit complexe, composé, par exemple, du fil de cuivre d'un GALVANOMÈTRE, muni de bornes de laiton et de BOBINES DE RÉSISTANCE en argent allemand. On doit cependant, dans ce cas, vérifier l'égalité de température des autres soudures, en constatant qu'il n'y a pas de courant produit quand on supprime le couple thermo-électrique et qu'on compose un circuit formé de toutes les autres parties de la chaîne. (Gordon, *Traité expérimental d'électricité.*)

THERMO-ÉLECTRIQUE (Échelle). — Liste de métaux disposés dans un ordre tel que, si on soude deux d'entre eux, le courant traverse la soudure échauffée en allant du métal placé le plus haut dans la liste vers le métal placé plus bas, et que la FORCE ÉLECTROMOTRICE du courant correspondant à deux métaux est toujours plus grande que celle qui correspond à deux autres métaux occupant sur la liste des positions intermédiaires entre celles des deux premiers. (V. PILE THERMO-ÉLECTRIQUE.)

THERMO-ÉLECTRIQUE (Force). — Force électromotrice d'un circuit thermo-électrique.

THERMO-ÉLECTRIQUE (Pile). — V. PILE THERMO-ÉLECTRIQUE.

THERMO-ÉLECTRIQUE (Pouvoir). — Le pouvoir thermo-électrique de deux métaux est la grandeur de la FORCE THERMO-ÉLECTRIQUE pour une différence de température d'un degré centigrade entre les soudures. Ce pouvoir varie avec la température moyenne des soudures.

THERMO-GALVANOMÈTRE. — Appareil imaginé par M. d'ARSONVAL pour mesurer la chaleur rayonnante. C'est un GALVANOMÈTRE ASTATIQUE Depeux-d'ARSONVAL dans lequel le cadre galvanométrique, composé d'un seul tour de fil formé par moitié de deux métaux différents, cuivre et mallechort, soudés à leurs extrémités, est suspendu par un fil de cocon rattaché à un point fixe O entre les branches de l'AIMANT NS (fig. 1). A l'intérieur de ce cadre se trouve le tube en fer doux T qui renforce le CHAMP MAGNÉTIQUE. Le miroir collé sur l'une ou l'autre des soudures sert à lire les déviations. L'appareil est APÉRIODIQUE.

Une autre disposition fort simple consiste à suspendre par un fil de cocon entre les branches d'un aimant NS un petit couple formé de deux barreaux cuivre-palladium, portant à sa partie inférieure un petit miroir pour les lectures des déviations.

M. d'ARSONVAL a modifié la disposition de son thermo-galvanomètre tout en conservant le même principe : ce nouveau modèle est composé de deux aimants en fer à cheval opposés par leurs pôles de même nom et dont les extrémités sont parfaitement planées; entre ces aimants est placée une lame de fer doux condensant les LIGNES DE FORCE magnétique,

et autour de cette lame se meut le cadre conducteur suspendu à l'aide de deux fils métalliques conduisant le courant. Par suite de cette disposition des aimants, le champ magnétique étant d'égal intensité, les indications de l'appareil sont rigoureusement proportionnelles aux intensités. On peut aussi éloigner les aimants et diminuer la sensibilité de l'appareil sans altérer l'homogénéité du champ. Enfin, un petit miroir concave permet de lire les angles de torsion d'une façon très précise, en se servant de l'échelle transparente de M. Carpentier (v. GALVANOMÈTRE), ou en employant la méthode de M. d'ARSONVAL.

Cette méthode, qui est susceptible de nombreuses applications, consiste à se servir d'une échelle photographiée sur verre que l'on éclaire à l'aide d'un prisme ou d'un miroir, et dont une lentille donne une image agrandie, qui, après réflexion sur le miroir du cadre galvanométrique, vient se former devant une lunette. Cette image est encore grossie avec un oculaire muni d'un réticule. Seulement, comme les miroirs plans sont difficiles à obtenir, M. d'ARSONVAL les remplace par une lentille plan-convexe argentée sur sa face postérieure et obtient ainsi un miroir concave donnant une image nette pouvant être grossie de 100 diamètres. On peut ainsi lire avec précision les plus faibles déviations.

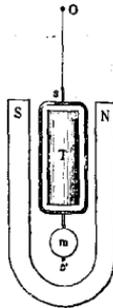
THERMOGRAPHE. — Thermomètre enregistreur. (V. ENREGISTREUR MÉTÉOROLOGIQUE.)

THERMO-MAGNÉTISME. — Magnétisme développé par la chaleur; partie de la physique qui traite du magnétisme développé par la chaleur.

M. Edison a construit, en 1887, une machine pyromagnétique ou thermo-magnétique destinée à transformer directement l'énergie rendue disponible par une chute de température en force électromotrice capable de déterminer la production d'un courant utilisable industriellement.

Le principe sur lequel repose cette machine consiste dans la variation de PERMÉABILITÉ MAGNÉTIQUE que subit le fer sous l'influence de la chaleur. Pour nous mieux faire comprendre, supposons qu'une bobine renfermant un NOYAU DE FER doux soit installée dans un CHAMP MAGNÉTIQUE constant et que, par un procédé quelconque, on fasse passer successivement le noyau de fer doux par les températures T et T₂. Le flux de force qui le traverse passera successivement par deux valeurs fonctions de ces températures, et si le circuit de la bobine est fermé, il sera parcouru quand on passera de la température T₂ à la température T et qu'on reviendra de la température T à la température T₂, par des quantités d'électricité égales, bien déterminées. Ces quantités d'électricité ne dépendront pour un appareil donné que des variations du flux de force et par suite des températures T et T₂, mais parcourront le circuit dans des sens opposés.

La quantité d'énergie représentée par le courant électrique sera d'autant plus grande que la rapidité du passage du noyau de fer doux d'une température à l'autre augmentera. La perte de chaleur due au transport opéré naturellement par le noyau de la



source chaude à la source froide deviendrait donc négligeable si les périodes d'échauffement et de refroidissement pouvaient être rendues très courtes, et par suite ce mode de transformation de la chaleur pourrait être susceptible d'un bon rendement; malheureusement, nous ne croyons pas que la condition nécessaire puisse être facilement réalisée.

M. Henri Mestre étudia pratiquement cette question en 1881. Il se servait d'un noyau creux qu'il faisait traverser alternativement par un courant de vapeur et un courant d'air froid. M. Maurice Leblanc imagina ensuite de faire tourner entre les pôles d'un aimant un disque composé de toiles en fil de fer dont une portion était échauffée par un foyer et l'autre

refroidie par l'air ambiant. Ces deux inventeurs reculèrent devant les difficultés qu'il y avait à produire de rapides alternatives de température et à trouver des métaux qui ne s'allièrent pas dans ces conditions.

Les dispositions réalisées par M. Edison présentent la plus grande analogie avec les précédentes. Elles sont représentées sur les fig. 1 et 2.

Entre les pôles d'un ÉLECTRO-AIMANT tourne une ARMATURE composée d'une série de tubes de fer accolés et situés au-dessus d'un foyer (fig. 1). Un écran protège contre le passage des gaz chauds une partie de ces tubes, d'où résulte une dissymétrie dans la perméabilité de l'armature et une rotation continue (cette dissymétrie n'étant maintenue que moyennant une



Fig. 1.

Machines pyromagnétiques Edison.

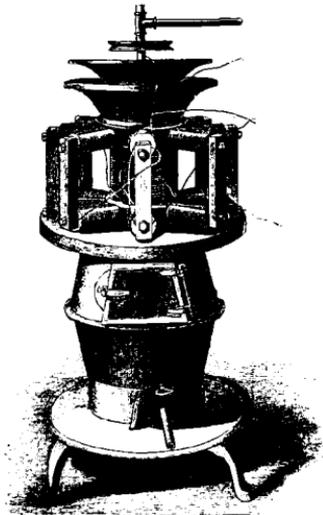


Fig. 2.

dépense continuelle de chaleur, par suite de la tendance qu'ont toujours les lignes de force à se raccourcir.

Dans une autre disposition, il s'est proposé de faire une machine auto-excitatrice. Il a entouré ses tubes de bobines, comme l'avait fait M. Mestre, et a disposé un collecteur spécial pour redresser les courants induits produits de cette manière (fig. 2). Ces machines ont été réalisées et ont fonctionné, ce qui constitue un grand mérite pour M. Edison, mais les résultats semblent peu satisfaisants; si les machines tournent trop vite, les tubes n'ont plus le temps de s'échauffer ni de se refroidir, et le couple moteur devient insignifiant. Si elles tournent lentement, le couple augmente, mais alors le rendement diminue.

M. Edison n'a pas fait connaître les rendements qu'il a pu observer. Le premier appareil qu'il a construit développait 1,6 kilogramme par seconde.

En résumé, la théorie incline que les appareils de

ce genre sont susceptibles d'un bon rendement si on arrive à faire passer très rapidement un noyau de fer d'une température à une autre. Mais il faut pour cela que sa surface de contact avec les gaz soit énorme par rapport à son poids, et, dans ce cas, il serait promptement détruit par l'oxydation. Aussi doutons-nous fort qu'on puisse arriver dans cette voie à des résultats meilleurs que ceux qu'on a obtenus avec les piles thermo-électriques, même en substituant au fer le nickel ou le cobalt.

THERMOMÈTRE ÉLECTRIQUE AVERTISSEUR.

— M. Gerboz a imaginé un thermomètre avertisseur destiné à éviter les incendies qui peuvent se produire spontanément dans les silos, magasins à fourrages, amas de grains, piles de tissus, soutes à charbon, étuves, etc. Il se compose essentiellement d'un thermomètre mé allique du type Bourdon, protégé par une enveloppe en tôle perforée qui permet à l'air

enveloppé par cette sorte de cuirasse d'être à très peu près à la même température que l'air ambiant. Sur le prolongement de l'axe de rotation de l'aiguille du thermomètre se trouve celui d'un index S, qui est amené à l'aide d'un bouton en face du nombre indiquant la température maxima qu'il s'agit de ne pas dépasser.

Lorsque cette température est atteinte, l'aiguille du thermomètre en venant dans le plan de l'index ferme le circuit d'une PILE LOCALE et cette dernière actionne une SONNERIE D'ALARME. Ce qui caractérise ce système, c'est la possibilité de contrôler à chaque instant le fonctionnement de l'appareil. En effet, l'index se compose : d'une chape faisant corps avec le bouton servant à le manœuvrer et montée avec un axe qui porte la tige index proprement dite; d'un ressort antagoniste destiné à maintenir cette tige dans une position constante par rapport à la chape, et d'un



Thermomètre électrique avertisseur.

pignon engrenant avec un segment denté placé sur l'axe d'une armature polarisée N d'électro-aimant. Cette armature se meut dans un plan perpendiculaire à l'axe des bobines de l'électro- et aussi près que possible de l'extrémité du noyau.

L'appareil avertisseur est relié à la pile, à un GALVANOMÈTRE et à un bouton ou INTERRUPTEUR, par un câble à trois conducteurs, de la façon suivante : le premier conducteur relie le pôle négatif de la pile à l'aiguille du thermomètre et à l'un des fils de l'électro-aimant; le second conducteur va de l'index à la sonnerie d'alarme et de là au pôle positif de la pile; le troisième, enfin, met en relation ce même pôle positif avec un galvanomètre, ensuite avec le bouton ou interrupteur et enfin avec le second fil de l'électro-aimant.

Quand on ferme le circuit de la pile, en pressant sur le bouton, le courant traverse le galvanomètre, le fait dévier, et on est ainsi assuré que les deux conducteurs et l'électro-aimant sont en bon état; mais en traversant l'électro-aimant, il polarise les noyaux, l'armature N tourne et l'index mobile est entraîné : il vient ainsi dans le plan de l'aiguille du thermomètre, le contact s'établit et la sonnerie d'alarme se met à tinter, ce qui indique le bon état du contact et du troisième conducteur. Si l'on cesse d'appuyer sur

le bouton interrupteur, le courant ne traversant plus l'électro-aimant, l'armature revient à sa position initiale, ainsi que l'index qui est sollicité par le ressort antagoniste monté sur un axe. De cette façon, le contrôle peut se faire facilement à tout instant, ce qui est essentiel dans le cas où le thermomètre est placé dans un endroit inaccessible.

THERMOMÈTRE ÉLECTRIQUE MÉDICAL. — (V. RADIATIONS calorifiques de la peau humaine.)

THERMO-MICROPHONE. — Nom donné à une sorte de MICROPHONE imaginé, en 1885, par M. Oehrowitz et constitué, suivant l'invention, par une agglomération de poussières métalliques qui ferme le circuit et modifie la circulation d'un courant de PILE en raison des variations du CHAMP MAGNÉTIQUE dont il subit l'influence, lequel est lui-même modifié par les vibrations d'un diaphragme. La poussière métallique doit être échauffée par le passage du courant pour acquérir la grande sensibilité de RÉSISTANCE électrique qui caractérise son action microphonique, d'où le nom de thermo-microphone donné à l'appareil. Il n'y a pas de BOBINE D'INDUCTION, et c'est le courant de départ qui actionne directement le récepteur.

THERMO-MULTIPLICATEUR. — Nom sous lequel on désigne l'ensemble de la PILE THERMO-ELECTRIQUE de Melloni et du GALVANOMÈTRE multiplicateur de Nobili.

THERMOPHONE. — (V. THERMO-TÉLÉPHONE.)

THERMOSCOPE. — Appareil servant à constater les différences de température à l'aide de la déviation d'une AIGUILLE galvanométrique. Le MICROSCOPESMÈTRE d'Edison est un thermoscope d'une grande sensibilité : quand on chauffe le charbon qui le compose, on produit sa dilatation, par suite un changement de pression qui fait dévier l'aiguille du galvanomètre relié à l'instrument.

THERMO-TÉLÉPHONE. — Sorte de TÉLÉPHONE imaginé par M. Preece, et composé d'une membrane vibrante au centre de laquelle est attaché un fil de platine de très faible diamètre dont l'autre extrémité aboutit à l'intérieur du manche de l'appareil. Les variations d'intensité du courant envoyé par le transmetteur déterminent dans le fil des dilatations plus ou moins fortes qui font vibrer la plaque et reproduisent la parole.

TISSAGE ÉLECTRIQUE. — L'électricité a été appliquée, vers 1855 et 1856, par M. Bonelli au fonctionnement des métiers à tisser. On avait tenté de remplacer les cartons des métiers Jacquart par des sortes d'interrupteurs électriques qui, pour produire des effets mécaniques, nécessitaient l'emploi d'ÉLECTRO-AIMANTS et d'une PILE éternelle. Mais cette application n'était pas rationnelle, puisque l'on demandait à l'électricité un travail que le métier lui-même pouvait fournir directement et d'une façon plus certaine. Aussi l'essai fut-il abandonné. D'autres inventeurs, parlant de la même idée, ont imaginé des dispositifs plus ou moins ingénieux; mais les avantages de l'application de l'électricité au tissage sont plus que contestables. Il n'en serait peut-être pas de même de cette application à la fabrication des cartons employés dans les métiers Jacquart ordinaires, laquelle permettrait d'opérer les perforations de ces cartons sans lecture préalable. Ce problème a été résolu il y a déjà longtemps, mais il n'a été l'objet d'aucune application à notre connaissance.

TONNERRE. — Bruit qui accompagne la foudre; il est produit par les couches d'air violemment déplacées par l'éclair et revenant très vite sur elles-mêmes; c'est en grand le bruit de l'ÉTINCELLE électrique. Quelquefois, mais rarement, le coup est sec, strident. Le plus souvent, c'est un roulement qui gronde, puis éclate tout à coup, s'apaise et gronde plusieurs fois de nouveau, jusqu'à ce qu'enfin le son s'éteigne complètement. Ordinairement le bruit du tonnerre arrive à notre oreille plusieurs secondes seulement après que l'éclair a brillé. Les diverses circonstances de ce bruit s'expliquent et par la longueur et par les échos qui servent à le répercuter. De cette grande longueur, en effet, il résulte que tous les points de l'éclair sont inégalement éloignés de l'observateur, et tous les bruits produits simultanément aux divers points de son trajet n'arrivent que successivement à l'oreille. Ces explications rendent compte aussi du renforcement avec lequel le tonnerre éclate à certains instants. Par sa forme en zigzag, l'éclair doit présenter un certain nombre de points situés à une même distance de l'observateur; les détonations qui ont lieu en ces différents points, arrivant simultanément à l'oreille, produisent un bruit intense. Les échos permettent aussi d'expliquer le roulement du tonnerre; ces échos ont pour cause la proximité des nuages, du sol, des édifices ou des montagnes. Aussi c'est dans les gorges profondes des régions montagneuses que le roulement du tonnerre se prolonge le plus longtemps; quelquefois il se fait entendre sans interruption, pendant toute la durée de l'orage, surtout si les éclairs se succèdent à courts intervalles.

TORPILLE (poisson). — Poisson pourvu sur les deux côtés du derrière de la tête d'un appareil électrique, dit appareil ÉLECTROPOISSON, à l'aide duquel il peut produire un déchargement plus ou moins considérable de fluide électrique. (V. ÉLECTROPOISSON et FLUIDE.)

TORPILLE (mine). — Mine flottante ou fixe. Elle a emprunté son nom à un poisson dont les propriétés électriques ont été particulièrement étudiées (v. TORPILLE, poisson) et s'est appelée aussi, dans les premiers temps de sa découverte, *torpédo*. On la désigne encore aujourd'hui sous ce nom en Angleterre.

L'invention des torpilles remonte au XVIII^e siècle. Le premier engin de ce genre fut employé au siège d'Anvers en 1783; il avait été imaginé par l'ingénieur italien Lambelli, qui, abandonnant au courant de petites barques chargées de poudre à canon et munies de mèches que l'on enflammait lorsqu'on lançait les barques, détruisit un pont de bateau construit par l'ennemi. En 1777, Bushnell, du Connecticut, inventa des bombes sous-marines que des plongeurs attachaient à la carène du vaisseau que l'on se proposait de détruire et auxquelles on communiquait le feu de l'éclairéur. En 1809, Fulton fit, dans le port de Bristol, des expériences du même genre avec une sorte de bateau sous-marin appelé le *Nautilus*, qui devait servir, comme les bateaux torpilleurs actuels, des mines sous les flancs des navires ennemis. Le gouvernement français, qui avait encouragé d'abord ces essais, s'en désintéressa; Fulton passa en Angleterre, où il poursuivit ses études; il fit, en 1804, des expériences décisives et détruisit un navire avec ses *torpilles* (nom sous lequel il désigna ces engins). Mais l'armée anglaise retira sa confiance à Fulton, qui retourna en Amérique. Là encore il se livra à des expériences devant une commission navale nommée par le Congrès; cette commission se déclara hostile et le Congrès se refusa à encourager de nouvelles épreuves.

C'est vers 1820 que l'on voit appliquer l'électr.

aux torpilles. En 1812, le colonel Colt employa l'électricité pour la mise à feu à distance des torpilles dans la rade de New-York; mais, bien que l'expérience ait été couronnée de succès, ce procédé n'entra dans la pratique que vers 1854, époque à laquelle le Dr Jacobi employa des appareils d'explosion sous-marine pour la défense des canaux de Cronstadt pendant la guerre de Crimée.

En 1860, le commandant Tréve, alors lieutenant de vaisseau, employait des torpilles mises à feu électriquement par des ÉTINCELLES d'une bobine de RUMKORFF pour détruire les batteries du Pe-ho.

Pendant la guerre de Sécession, les Américains se servirent aussi des torpilles; le 27 octobre 1864, les Unionistes faisaient sauter ainsi le béliet cuirassé *Abernate*, au mouillage dans les eaux de la station de Plymouth, dans la Caroline du Nord. C'est pendant cette guerre que l'on se servit des premières torpilles électriques, qui consistaient en des torpilles ordinaires munies d'une amorce que l'on enflammait à distance par la déflagration de l'étincelle d'induction produite par la bobine de Ruhmkorff.

« Lors de la guerre austro-italienne, en 1866, le gouvernement autrichien avait fait les plus grands efforts pour mettre ses ports à l'abri d'une attaque de la flotte italienne. Des torpilles y avaient été coulées en grand nombre sur plusieurs lignes concentriques assez rapprochées; elles étaient immergées à une certaine profondeur au-dessous du niveau de l'eau, ne laissant à la surface aucun signe de leur présence. Chacune d'elles était reliée par un fil métallique à un poste d'observation, assez vaste chambre obscure convenablement située sur la côte, et dans la paroi de laquelle se trouvait une lentille regardant le port. Les rayons lumineux venant du dehors la traversaient, se réfractaient et venaient passer dans un prisme qui les dirigeait sur une glace dépolie posée horizontalement. Une image du port se formait sur la glace. La place exacte de chaque torpille était indiquée sur cette image par un point noir qui portait un numéro reproduit sur une des touches d'un clavier. Il suffisait de presser du doigt une touche pour mettre la torpille correspondante en communication avec une pile électrique par l'intermédiaire du fil métallique qui la reliait au poste, et pour en déterminer l'explosion. Un observateur ne quittait pas des yeux la glace où l'image du port se reproduisait. Si un navire ennemi tentait de s'approcher, son image, grossissant au fur et à mesure qu'il avançait, apparaissait sur la glace, et au moment où il passait sur un point noir, un simple coup frappé sur le clavier au numéro correspondant pouvait déterminer l'explosion. Il est probable que c'est à la connaissance du danger que la flotte italienne aurait couru en attaquant les ports autrichiens, que ceux-ci se sont trouvés à l'abri de toute surprise. » (*La Nature*, 1884.)

On peut combiner les appareils de façon à permettre à la fois l'explosion à volonté, sous les manœuvres simultanées, mais indépendantes, des agents de deux stations d'observation, et l'explosion par choc, seule utile en temps de brume où l'observation n'est plus possible. On arrive à ce dernier résultat en reliant les lignes de chaque torpille, d'un côté à la mer par deux dérivations dont une renferme l'amorce et l'autre un ferme-circuit pouvant être actionné par le choc d'un vaisseau, et de l'autre côté, à un RELAIS COMMUTATEUR de piles qui, actionné par le ferme-circuit et la pile de signal, introduit automatiquement sur la ligne la forte pile d'inflammation et fait éclater la torpille. Le ferme-circuit élanche, qui flotte au-dessus de la torpille, est constitué par un fort ressort à boudin dont les vibrations sous le choc amènent

une tige rigide en contact avec l'une ou avec l'autre des trois lames qui l'enlacent.

En 1869, M. Wood, ingénieur de la marine fédérale aux États-Unis, et M. Beardslee expérimentèrent à West-Point des torpilles consistant en un cylindre en bois dont on enfilait l'amorce par l'éclincelle d'induction. Fait curieux à noter, les inventeurs provoquèrent l'explosion électriquement, à une distance de 240 milles, en utilisant les fils télégraphiques de la ligne de New-York à Washington. Ce sont ces manœuvres qui donnèrent l'idée de faire déposer les engins de ce genre dans les stations navales ou des embarcations spéciales les prenaient, tantôt pour les porter au large, tantôt pour les placer sous les flancs des navires ennemis. Les bateaux préposés à ce service furent appelés porte-torpilles, puis torpilleurs.

Citons encore par ordre de dates : les essais de M. Beardslee, dans la Medway, en 1872, à la suite desquels la torpille acquiert droit de cité dans tous les arsenaux ; ceux de l'amiral de Chabanne à Toulon en 1876, et ceux de l'ingénieur italien Ehenor en 1877.

Enfin le rapport du jury de l'Exposition internationale d'électricité de Paris en 1881 décrivait de la façon suivante un système proposé par la Compagnie India Rubber Gutta Percha et Telegraph Works pour effectuer le tir par observation : « Les câbles de chacune des lignes de torpilles sont munis, à l'entrée des relais de dérivation, d'un secteur ou commutateur portant la lunette et réunis à un second poste d'observation convergent avec le premier par un câble spécial qui prend terre au poste de convergence et sur lequel est installé, près de chaque poste, un interrupteur. Les torpilles sont disposées en quinconce, et à chaque ligne correspond une installation indépendante et complète. Grâce à cette disposition, le relais commutateur des piles entre en fonction lorsque le circuit de la pile de signal est fermé à travers l'électro-aimant par le câble qui relie les deux postes d'observation, ce qui exige que chacun des deux observateurs tiennent sa clef de contact abaissée au moment où un navire se présente au point de convergence des lignes de visée. Comme la lunette du poste de feu entraîne un bras de contact sur le secteur commutateur des torpilles d'une même ligne de défense, le courant de signal actionnera bien le relais de la torpille visée, et d'ailleurs, pour que le courant de la pile d'inflammation passe entièrement par cette torpille et ne se dérive pas vers le secteur, la dérivation qui relie ce dernier au relais est brisée tout d'abord par la rupture d'un contact dépendant du levier commutateur des piles, avant que la pile d'inflammation soit introduite sur la ligne. L'armature du relais oscillant entre les deux pôles de l'électro-aimant, forme détente et laisse basculer un levier dont le contre-poids porte le numéro de la torpille et tombe sur une cloche pour appeler l'attention. C'est cette chute mécanique qui rompt le contact avec le secteur d'observation et introduit ensuite sur la ligne la pile d'inflammation dont un pôle est à la terre. »

En 1881, M. Mac Eway avait également exposé un modèle de torpille d'attaque dans le circuit d'inflammation de laquelle est un interrupteur à bouchon que l'on ne ferme qu'au moment de l'attaque et qui empêche l'explosion si un choc accidentel vient à fermer le contact de la torpille pendant les manœuvres ; de plus, une dérivation munie d'une clef de contact et ne comprenant que la pile et l'amorce, permet en pressant sur la clef de provoquer l'explosion à volonté, si le bateau torpilleur arrive très près du navire sans le choquer. (On sait, en effet, que la torpille, portée au bout d'une longue antenne par le bateau torpilleur, éclate dès qu'elle choque le navire

attaqué.) Enfin, avec un GALVANOMÈTRE à forte résistance introduit sur la ligne, on utilise pour les essais la pile d'inflammation sans danger pour l'amorce.

La plupart des inventions dont il vient d'être question devaient être bientôt éclipsées par les nouvelles torpilles dirigeables : la Whitehead, la Lay et la Nordenfeldt.

La torpille automobile Whitehead a été construite en 1864 par un mécanicien de ce nom établi à Fiume, d'après les données du capitaine Lupuis, de l'armée autrichienne ; elle est en acier martelé, affecte la forme d'un long fuseau (d'où son nom de *Whitehead fish*) ; elle mesure 4^m.40 à 5^m.80 de longueur, elle a 35 à 45 centimètres de diamètre et pèse de 280 à 400 kilogrammes ; elle peut aller à la vitesse de 28 nœuds sur un parcours de 400 mètres, qu'elle franchit en moins de trente-cinq secondes. La torpille a comme organes spéciaux : une chambre de charge ; un compartiment pour les régulateurs d'immersion ; un réservoir d'air comprimé ; une chambre pour les machines ; un flotteur et une queue (hélices et gouvernails). La charge ordinaire de la Whitehead est faite avec du fulmicoton. Cette torpille, que nous ne pouvons passer sous silence, n'emprunte pas l'électricité pour le fonctionnement de ses organes ; aussi nous ne nous y arrêterons pas.

La torpille du colonel Lay, de l'armée des États-Unis, est autrement intéressante au point de vue électrique et mécanique. Son invention remonte au mois de juin 1873. Des expériences ont été faites en 1887 près de Brightlingsea. Cette torpille a la forme d'un cylindre en laiton de 6 mètres de long et d'un diamètre de 45 centimètres. L'extrémité est pointue et contient une charge de 70 kilogrammes de roburite. L'hélice est à trois branches, actionnée à la vitesse de 500 tours par minute au moyen d'un moteur sphérique Tower de 16 chevaux marchant à l'acide carbonique comprimé. Elle est montée à l'avant de la torpille ; à l'arrière, entre deux gouvernails, se trouve un tube par lequel débouche un câble électrique à deux conducteurs. Le câble se déroule d'un tambour placé à l'intérieur, à travers le tube, pendant la marche de la torpille. Celle-ci est mise en mouvement ou arrêtée au moyen de courants électriques envoyés dans le câble, et qui permettent également de diriger le bateau, de régler l'immersion et de faire partir la charge. Généralement, la torpille avance près de la surface ; quand on désire plonger, on ouvre une soupape qui admet de l'eau ; quand on veut remonter, on introduit de l'acide carbonique au-dessus de l'eau pour l'expulser.

Enfin la torpille Nordenfeldt qui est actuellement le type le plus récent, et qui, dans les expériences faites en 1888 sur la Tamise, a montré sa supériorité pour la défense des côtes, se distingue des autres par deux points essentiels :

1^o Par ses dimensions ; alors que les torpilles ordinaires ne pèsent guère plus de 500 kilogrammes au maximum, la torpille Nordenfeldt atteint le poids de 3.100 kilogrammes et peut reculer dans ses flancs 180 kilogrammes de dynamite.

2^o Par son agent moteur : tous ses organes, hélices, gouvernails et amores sont *mus par l'électricité*. A cet effet ce nouvel engin électrique est relié, à son point de départ, par un câble conducteur de longueur indéterminée, câble qui, dans les conditions ordinaires, peut permettre à la torpille de franchir sans aucune difficulté une distance de 4 kilomètres ; elle se déplace, se dirige uniquement par l'énergie électrique qu'on lui envoie, et sa vitesse atteint 14 nœuds. Enfin, cette nouvelle torpille ne réclame aucune base d'opérations préalables, c'est-à-dire qu'on

simple bateau peut la transporter ou la lancer; elle file alors en droite ligne, sans dévier, jusqu'à ce qu'elle ait épuisé la longueur de son câble électrique. Elle peut rester chargée très longtemps sans inconvénient. On peut donc se demander si l'arme imaginée par M. Nordenskjöld ne va pas détrôner, à brève échéance, les torpilles Whitehead et Lay, déjà devenues classiques; car la facilité de la mise à flot, la simplicité de son fonctionnement par un simple courant électrique de quelques volts, la feront certainement préférer aux types précédents, qui requièrent une foule de manipulations chimiques et mécaniques pour l'emmagasinement du gaz comprimé nécessaire à une marche de quelques moments à peine.

Les renseignements qui précèdent, et qui sont empruntés pour la plupart à la *Lumière électrique*, suffisent à montrer quel rôle important joue maintenant l'électricité dans l'emploi des torpilles.

TORPILLE ÉLECTRIQUE. — Instrument de physique composé d'un verre dans lequel plongent les deux branches d'un EXCITATEUR reliées par un fil de platine fin et court. Le verre étant rempli d'eau, si l'on vient à faire traverser le fil de platine qui réunit les deux branches de l'excitateur par la DÉCHARGE d'une BATTERIE ÉLECTRIQUE, le choc produit sur le liquide par la volatilisation brusque du fil de platine se transmet aux parois du verre, le liquide est projeté à quelques centimètres de hauteur et le verre est brisé. On a comparé la secousse produite à celle d'une torpille de guerre, d'où le nom donné à cette expérience, qui est fort ancienne.

TORPILLEUR. — Bateau porte-torpille. — Ces bateaux sont plus jusqu'à présent par des moteurs à vapeur; mais, depuis quelques années, on essaye de remplacer ces derniers par des moteurs électriques, à cause des avantages qu'ils présentent au point de vue de l'absence de bruit et de fumée, ce qui leur permet de stimuler plus facilement leur marche. (V. NAVIGATION ÉLECTRIQUE ET PROPULSION.)

TORSION MAGNÉTIQUE. — Un fil de fer aimanté et parcouru par un courant subit une torsion dans un sens déterminé. C'est sur ce fait que le professeur Hughes a établi sa théorie moléculaire du magnétisme. Maxwell explique le phénomène par l'allongement que subissent les fils de fer sous l'influence de l'aimantation. Il remarque que dans ce cas l'aimantation résultante ayant lieu dans une direction hélicoïdale, l'allongement du fil doit donner lieu à une torsion. Des expériences plus récentes faites par M. Bidwell il résulte que le fil de fer, après avoir atteint un certain degré d'aimantation, subit un raccourcissement, et que ce raccourcissement commence à un degré moindre d'aimantation si les fils sont tendus par des poids. MM. Knott et Wiedemann ont montré, d'autre part, qu'un fil de nickel aimanté subit une rotation inverse de celle du fer s'il est traversé par un courant. Maxwell prétend que ce fait concorde avec sa théorie, en s'appuyant sur ce que le nickel se raccourcit lorsqu'on l'aimante (expérience de M. Barre). M. Wiedemann, au contraire, prétend que ces torsions ont pour cause le déplacement des fibres longitudinales et les modifications de section provenant des frottements intermoléculaires produits par suite de la position hélicoïdale que doivent prendre les files de molécules orientées par l'action de l'aimantation.

TORMALINE. — Minéral rapporté de Ceylan. En 1717, Lemery, Alpinus et Canton reconnurent que la tourmaline dégage de l'électricité quand on fait varier sa température. Les minéraux qui jouissent de

ce propriétés sont dits PYROÉLECTRIQUES et l'on appelle PYROÉLECTRICITÉ l'électricité qu'ils manifestent.

Bequerel a étudié la pyroélectricité dans un certain nombre de corps au premier rang desquels se place la tourmaline (r. ÉLECTRICITÉ, *Production de l'électricité dans les minéraux*). M. Gauguin a publié aussi sur cette question, en 1856 et 1857, plusieurs mémoires intéressants qui complètent les travaux de Bequerel. En janvier 1881, MM. Jacques et Pierre Currie ont fait une communication à l'Académie des Sciences pour signaler qu'une action de pression détermine également sur la tourmaline un dégagement électrique, dont ils ont établi les lois. Ils ont fait remarquer que ces lois correspondent exactement à celles que M. Gauguin avait déduites par rapport aux phénomènes pyroélectriques de la tourmaline, et ils en ont conclu que le dégagement électrique dans les deux cas est dû à une seule et même cause, la contraction ou la dilatation suivant l'axe de la tourmaline.

MM. Jacques et Pierre Currie pensent, comme Bequerel, Forbes et Thomson, que les molécules de la tourmaline et des cristaux hémimères à faces inclinées sont toujours polarisées, et qu'une couche d'électricité condensée sur leur surface neutralise leur action extérieure. Or, la chaleur faisant varier l'état de polarisation, la neutralisation n'a plus lieu. Toutefois, essayant de préciser davantage les causes de la polarisation et celles de sa variation, ils supposent qu'entre les faces opposées de deux couches successives de molécules il existe une différence de tension constante qui entraîne une condensation d'électricité dépendant de la distance des deux couches et qui permet de déduire que, si, par une cause quelconque, on change cette distance (variation de pression ou de température), on fait varier la quantité condensée. Par conséquent, la quantité d'électricité dégagée doit être proportionnelle à la variation de distance de deux couches successives; elle doit être aussi proportionnelle à la surface et indépendante du nombre de couches ou de l'épaisseur de la colonne, ce qui correspond bien aux expériences faites sur la tourmaline. Enfin les auteurs font remarquer que pour rendre compte de la différence de tension constante qui, suivant eux, doit exister entre les faces opposées de deux couches successives, il suffit d'admettre une forme particulière des molécules, forme de laquelle dépend la dissymétrie des cristaux et qui présente une certaine analogie avec leur forme hémimère. D'après cela, la nature de la matière n'entrerait pas en ligne de compte, et la forme seule de la molécule exercerait l'influence prépondérante.

TOURNIQUET ÉLECTRIQUE. — Appareil destiné à mettre en évidence les mouvements dus à l'écoulement de l'électricité par les pointes.

Sur un pivot communi-quant à une MACHINE ÉLECTRIQUE, on pose une chape centrale, autour de laquelle sont flex horizontalement des rayons divergents en fil de laiton (fig. 1). Ces rayons sont recourbés dans le même sens à leur extrémité et terminés en pointe aiguë. On charge

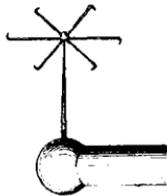


Fig. 1.

la machine électrique, et aussitôt le tourniquet prend un mouvement de rotation en sens contraire de la direction des pointes. Si l'expérience se fait dans

l'obscurité, on observe des AIGRETTES de feu qui s'élevent de chaque pointe et dont la nuance est différente, suivant que l'électricité est vitrée ou résineuse.

La rotation du tourniquet électrique s'explique comme suit : au contact des pointes, l'air s'éclaircit : il y a donc aussitôt répulsion entre chaque pointe et la couche d'air qui la touche. Cette couche d'air repoussée est remplacée par une autre, qui s'éclaircit à son tour et se comporte comme la précédente. Chaque pointe reçoit donc une série de répulsions par l'effet desquelles l'appareil est mis en mouvement.

Tourniquet électrique de M. E. Bichat. — L'appareil que nous venons de décrire est un appareil de physique amusante; M. Bichat a cherché à en faire un instrument de mesure toujours comparable à lui-même et à ses semblables. Dans le tourniquet ordinaire, les pointes s'allèvent avec le temps sous l'action des aigrettes qui s'en échappent, et il est à peu près impossible de fabriquer des pointes identiques à un modèle donné et, par suite, d'obtenir deux appareils semblables. M. Bichat remplace donc les pointes par des fils de faible diamètre, et son appareil, représenté

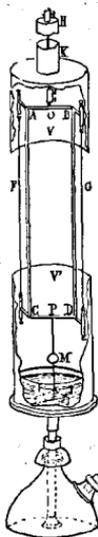


Fig. 2.

Enfin, l'ensemble ainsi constitué est placé au centre d'un grand cylindre de tôle de 1^m,40 de diamètre, communiquant avec le sol. (Ce cylindre n'est pas représenté sur la figure.) Pour éviter les perturbations provenant de ce que les aigrettes peuvent s'échapper soit du fil de suspension, soit des pointes qui servent à tendre les fils F et G, on a entouré le fil de suspension d'un cylindre métallique HK terminé par un cylindre V plus large qui recouvre toute la partie supérieure du tourniquet. De même, la partie inférieure du cadre est enfermée dans un cylindre métallique V' reposant sur le support isolant qui soutient le vase à acide sulfurique. Ces cylindres sont d'ailleurs reliés électriquement au tourniquet proprement dit.

A chaque instant on peut déterminer en valeur absolue le POTENTIEL du tourniquet en le reliant à l'ÉLECTROMÈTRE absolu imaginé par MM. Bichat et Blondlot. On constate alors que le tourniquet reste

absolument immobile lorsqu'il est chargé à de faibles potentiels; il ne commence à se mettre en mouvement que lorsque le potentiel atteint une valeur parfaitement déterminée, dite *potentiel de départ*. Ce dernier potentiel est toujours plus élevé quand le tourniquet est électrisé positivement que quand il l'est négativement. Pour des fils de platine de 0^m,0000501 de diamètre, il a pour valeur moyenne 69,1 (CGS) dans le premier cas et 63,2 dans le second. Pour des fils de métaux différents, mais de même diamètre, le potentiel de départ a sensiblement la même valeur, quel que soit le métal, si l'électrisation est positive; quand elle est négative et lorsque le fil est bien propre, on constate, surtout dans le cas du fer, du nickel et de l'aluminium, des variations irrégulières. Cependant le potentiel de départ, même pour l'électrisation négative, tend, avec le temps, vers la valeur que l'on observe avec l'or et le platine, métaux difficilement altérables dans les conditions de l'expérience. Cette sorte de dissymétrie que l'on constate pour les deux espèces d'électrisation pourrait trouver son explication dans l'hypothèse, émise par Maxwell, de l'existence d'une différence électrique entre les métaux et l'air en contact. Pour un métal donné, le potentiel de départ diminue quand le diamètre du fil diminue lui-même. Les conditions de l'expérience sont trop complexes pour qu'on puisse espérer trouver une relation entre le diamètre du fil et la valeur du potentiel de départ. En modifiant légèrement la disposition du tourniquet, on peut aisément faire varier la température des fils; il suffit pour cela de les placer sur le circuit d'une pile isolée. On constate ainsi que la valeur du potentiel de départ, qui est de 69,7 à la température de 14° pour l'électrisation positive, n'est plus que de 3,3 à la température du rouge blanc; il diminue donc très rapidement à mesure que la température s'élève.

De plus, la différence constatée entre les potentiels de départ, suivant que l'électrisation est positive ou négative, disparaît une fois que le fil est porté au rouge. Aux températures les plus élevées que puissent supporter les fils de platine sans fondre, la déperdition de l'électricité par convection, qui est la cause du mouvement du tourniquet, se produit pour une valeur très petite du potentiel. Or Bequerel a découvert que le courant d'une pile, même d'un seul couple, passe à travers l'air porté à la température du rouge (v. *Annales de physique et de chimie*, 3^e série, t. XXXIV, 1853). M. Blondlot a montré que ce passage ne se fait pas suivant la loi d'Ohm. Il a été conduit à penser que la transmission de l'électricité par les gaz chauds se fait, au moins en partie, par le mécanisme de la convection. Les expériences du tourniquet à haute température appuient un argument en faveur de cette hypothèse, puisqu'elles prouvent que la convection se fait d'autant plus facilement que la température est plus élevée (*Académie des Sciences*, juin 1887).

TRACTION ÉLECTRIQUE. — Le problème de la traction des véhicules par l'électricité est encore loin d'être résolu au point de vue pratique; mais on s'en occupe activement, et il est certain que cette nouvelle application de l'électricité est appelée à un grand avenir. Pour s'en convaincre il suffit de remarquer que les machines à vapeur perfectionnées à grande détente consomment 1 kilogramme de charbon par heure et par cheval-vapeur, tandis que la dépense des locomotives à grande puissance atteint 3 kilogrammes, et que celle des machines plus petites, employées pour les tramways à vapeur, par exemple, dépasse souvent 4 et 5 kilogrammes. Si donc on pouvait

envoyer électriquement la force produite à l'aide de machines à vapeur fixes et à faible consommation de charbon, à des MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES placées sur les véhicules à mettre en mouvement, ou concevoir que l'on pourrait réaliser une sérieuse économie, même en admettant une déperdition de force atteignant 50 %, puisque les grandes machines à vapeur fixes dépensent trois, quatre et cinq fois moins que les locomotives pour produire la même quantité de travail. L'économie sera même plus considérable, puisque l'on pourra diminuer le poids mort du moteur, le remorqueur électrique n'ayant besoin ni de foyer ni de chaudière, ni de provision d'eau et de charbon. On supprimera aussi complètement les dangers d'explosion. Enfin, dans le cas où l'on pourra utiliser les chutes d'eau ou autres forces naturelles pour la production de la force, on ne réalisera pas un gain de 30 à 40 %, mais bien un gain de près de 95 à 95 %.

La seule objection à faire au système de traction électrique à l'aide de la transmission électrique de la force, c'est la nécessité de créer en des points déterminés du parcours des usines centrales de force motrice dont les machines devront marcher jour et nuit. Cette objection a une certaine valeur, mais elle n'est pas décisive. On doit donc s'attendre à voir travailler très activement cette question de la traction électrique, qui peut exercer une grande influence sur l'industrie si considérable des transports.

C'est pour ces diverses raisons qu'il nous a paru indispensable de faire connaître les efforts tentés jusqu'à présent dans cette voie. On s'est borné jusqu'ici à opérer la traction électrique des tramways, c'est-à-dire des voitures isolées ou exceptionnellement des trains formés de deux ou quatre voitures au plus, circulant sur des lignes de peu de longueur et à une vitesse très réduite; aucune locomotive électrique capable de circuler sur un véritable chemin de fer à voie normale et d'y opérer la traction d'un train de voyageurs ou de marchandises n'a encore été construite, parce qu'il fallait être fixé auparavant sur la possibilité de transporter une grande quantité d'énergie à une grande distance. (V. TRANSPORT DE LA FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ.)

Traction électrique des tramways.

— La traction électrique des tramways peut se faire :

I. En utilisant l'électricité produite par une machine fixe ;

II. En se servant de l'électricité accumulée dans une ou plusieurs batteries secondaires placées sur le véhicule et par conséquent mobiles avec lui.

Chacun de ces systèmes est lui-même appliqué de différentes façons. Ainsi, lorsqu'on utilise l'électricité produite par une machine fixe, le courant peut être distribué comme suit :

1° Les rails ordinaires servent de conducteurs; les essieux du véhicule sont isolés des roues et le circuit est établi avec le moteur électrique au moyen de balais qui frottent ou de galets qui roulent sur des rails.

2° Le courant circule dans des conducteurs aériens placés le long de la voie sur des poteaux et formés soit d'un tube creux fendu suivant sa longueur, soit de barres métalliques; un système de piston dans le cas des tubes ou un chariot à galets dans le cas des barres, relié au moteur par un câble flexible, sert à la prise du courant.

3° Un troisième rail placé dans l'axe de la voie et isolé du sol amène le courant au moteur, et le retour se fait par les rails ordinaires.

4° Les conducteurs sont placés dans le sol, à l'inté-

rieur d'un tuyau; une fente longitudinale permet le libre passage du chariot de contact qui amène le courant au moteur.

5° Les conducteurs sont placés dans le sol, mais non à l'intérieur d'un tuyau; l'introduction du courant dans le moteur a lieu par des sections de rails de contact, au moment où elles sont occupées par la voiture.

Lorsqu'on utilise le courant fourni par des batteries d'ACCUMULATEURS, on peut :

1° Placer la batterie dans la voiture même;

2° Placer la batterie sur un remorqueur auquel on attelle une ou plusieurs voitures.

Nous allons examiner en détail chacun de ces systèmes, en indiquant les principales applications qui en ont été faites jusqu'à ce jour.

I. UTILISATION DU COURANT D'UNE MACHINE FIXE.

1° **Emploi des rails comme conducteurs.** — C'est en 1867 que M. Siemens eut l'idée d'utiliser les machines dynamos à la transmission de la force pour établir des chemins de fer aériens. Les premières applications de traction électrique datent de 1879, à la suite des expériences de Serravallo (V. TRANSPORT DE LA FORCE); le principe est fort simple : *Étant donnée une machine dynamo-électrique fixe placée à l'extrémité de la ligne et actionnée par une machine à vapeur, une machine à gaz, ou une machine hydraulique, on transmet, au moyen d'un conducteur, le courant qu'elle produit à une deuxième machine dynamo-électrique placée sur le véhicule. Cette machine tourne et commande les roues de la voiture.*

Tramway électrique de Berlin (1879). — Le premier chemin de fer électrique basé sur ce principe fut installé à l'Exposition de Berlin en 1879 par MM. Siemens.

Le courant de la machine dynamo-électrique fixe (ou génératrice) était envoyé dans un rail central isolé sur des traverses de bois. La voiture portait des balais de fil de cuivre qui frottaient sur les deux faces latérales de ce rail central et qui recueillait ainsi le courant. Ce dernier passait dans la machine dynamo-électrique (réceptrice) placée sur la voiture. La traversait et retournait à la génératrice par les roues du véhicule reliées métalliquement au fil de sortie de la réceptrice et par les rails du tramway. La génératrice et la réceptrice étaient des machines dynamos Siemens; la réceptrice transmettait son mouvement aux essieux du véhicule par des engrenages.

On remarquait, sur une voie de 9^m,49 de largeur, trois petits wagons contenant chacun six voyageurs, à une vitesse de 1^m,88 à 3^m,50 par seconde. Les efforts de traction étaient alors respectivement de 75 et de 40 kilogrammes. Dans ce dernier cas, le travail total était estimé à 3 chevaux environ. La voiture qui portait la réceptrice était munie de deux freins : un frein électrique consistant en un COMMUTATEUR à l'aide duquel on interrompait le courant, et un frein mécanique à main permettant d'agir sur des sabots qui s'appliquaient sur les roues de devant du véhicule. Pour changer le sens de la marche, il suffisait d'inverser le courant qui actionnait la réceptrice.

Tramway électrique de Lichterfelde (1881). — En mai 1881, MM. Siemens construisirent un chemin de fer électrique reliant la station de Lichterfelde (sur le chemin de fer d'Anhalt à Berlin) à l'Institut central des Cadets. Cette ligne a une longueur de 2.100 mètres, les rails servant de conducteurs sont

fixés, comme d'habitude, sur des traverses en bois; on n'a pas employé de dispositif particulier pour les isoler. Le contact électrique avec les rails est obtenu au moyen de bandes flexibles en cuivre. La résistance des conducteurs est relativement faible, ce qui permet l'emploi de courants de faible tension (90 à 100 volts), sans danger pour les hommes ou les animaux. A la traversée des routes, les rails sont mis hors du circuit et le courant passe par des conducteurs souterrains : des boîtes de contact avec commutateurs sont placées près de ces traversées et permettent d'envoyer le courant dans ces portions de rails

isolés, s'il est nécessaire. Les dynamos génératrices du courant et les machines à vapeur qui les actionnent sont placées dans un bâtiment au tiers de la longueur de la ligne en partant de Lichterfelde. Il y a deux machines à vapeur de 6 chevaux nominaux chacune et deux dynamos Siemens. Une voiture suffit au trafic normal; les jours de fêtes, on en fait circuler deux. La voiture, qui fait 24 voyages par jour, porte 25 voyageurs; elle pèse à vide 3.200 kilogrammes; elle circule à la vitesse moyenne de 19 kilomètres à l'heure. La transmission de mouvement entre le moteur et les caisses se fait à l'aide de poulies à jante entaillée de rail-

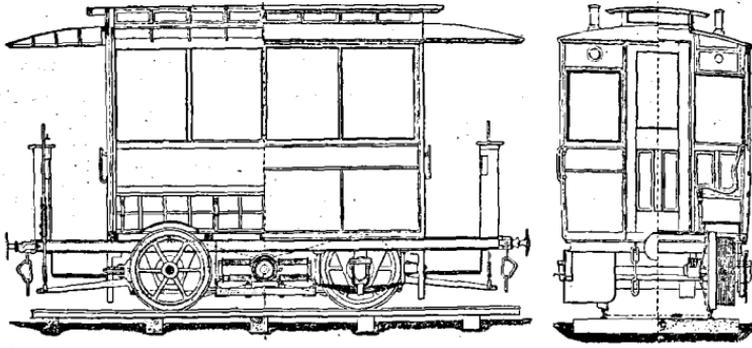


Fig. 1 et 2.

Tramway électrique de Lichterfelde. (Élévation, coupe longitudinale, vue en bout et coupe transversale.)

nures en forme de V et d'un câble en fil d'acier pour l'une des voitures (fig. 1 et 2), à l'aide d'une transmission par chaîne et engrenage pour l'autre voiture. Ce dernier système donne lieu à plus de bruit et de vibrations, à une dépense plus élevée de courant, et la vitesse est un peu moindre.

Tramway électrique de Brighton (1884). — Nous citerons encore, comme exemple de tramway électrique dans lequel les rails sont employés comme conducteurs, le chemin construit par M. Magnus Volk en 1884 à Brighton (Angleterre). La ligne a un développement total de 1.600 mètres. Les 2/3 de cette longueur sont en palier; sur le dernier tiers, il existe deux rampes, l'une de 0^m.010 sur 220 mètres, l'autre de 0^m.060 sur 50 mètres de long. Les rails, placés à l'écartement de 0^m.625, reposent sur des traverses en bois posées sur le gâlet, le long de la plage. Les rails qui servent de conducteurs sont simplement cloués sur les traverses sans que l'on ait pris aucune précaution spéciale pour leur isolement. La perte d'électricité n'est pas supérieure à 40 %; la tension du courant est faible. Ce courant, fourni par une dynamo COMPOUND Siemens conduite par un moteur à gaz de 12 chevaux, a une intensité de 20 ampères et une FORCE ELECTROMOTRICE de 160 volts, lorsqu'il n'y a qu'une seule voiture en service. La voiture, qui peut contenir trente voyageurs pèse en charge 3 1/4 tonnes. La vitesse est de 12,8 kilomètres à l'heure.

La transmission du mouvement entre le moteur électrique et l'essieu moteur de la voiture se fait par un arbre intermédiaire portant une poulie de 0^m.600;

la poulie de l'arbre du moteur a un diamètre de 0^m.125. On emploie en guise de courroies des bandes de cuir rattachées par des agrafes.

Les dépenses ne dépassent pas, d'après M. Volk, 0 fr. 20 par *mille-voiture*; les dépenses totales atteignent les 55 % des recettes brutes.

Tramway électrique de l'Exposition de Vienne en 1883. — A l'EXPOSITION internationale d'électricité de Vienne (Autriche), en 1883, on retrouvait le tramway électrique de M. Siemens avec quelques modifications ayant pour but d'éviter les inconvénients qui se produisent par suite de la variation de vitesse de la réceptrice lorsque le véhicule gravit une rampe ou descend une pente, variations qui ont pour conséquence l'envoi dans la génératrice d'un courant agissant en sens contraire de celui qu'elle fournit. La voie avait une longueur de 1.528 mètres, trois courbes de 230 mètres de rayon, et trois rampes faibles (1:750 environ); elle comptait deux routes à niveau. Le train se composait de deux ou trois voitures transportant quatre-vingt-deux voyageurs à une vitesse moyenne de 30 kilomètres à l'heure. Le courant était fourni par deux machines Siemens placées à l'extrémité de la ligne, enroulées en quantité et accouplées de telle sorte que la différence de potentiel dans les deux machines fût constamment la même; on faisait exister le CHAMP MAGNETIQUE d'une machine par le courant de l'autre et on entretenait dans les deux le même potentiel, afin que la polarité ne fût pas changée. Les deux rails, isolés, servaient: l'un à amener le courant de la génératrice à la réceptrice, l'autre à ramener le

courant de la réceptrice à la génératrice (comme à l'Exposition de Berlin). La partie de la voie ferrée qui traversait les passages à niveau était normalement isolée du reste de la voie et était mise automatiquement dans le circuit au passage du train.

Un commutateur à manivelle placé sur le véhicule permettait d'établir un contact avec les balais frottant sur le rail et la réceptrice pour la mise en marche. Il était disposé de telle sorte qu'en faisant faire une rotation complète à la manivelle, on dirigeait d'abord le courant à travers une résistance, afin d'empêcher la formation d'étincelles qui se produisent toujours lorsqu'on met une machine au repos en relation avec une source électrique d'une grande intensité; puis on remettait progressivement cette résistance hors du circuit.

La tension du courant ne dépassait pas 150 volts, et le rendement mécanique moyen était de 50 %; mais on perdait une partie assez notable de ce courant par suite de l'isolement défectueux des rails, surtout en temps de pluie.

Emploi de l'électricité pour augmenter l'adhérence des roues motrices sur les rails. — M. Ries, ayant remarqué que dans les chemins de fer électriques où les rails servent de conducteur au courant le passage de celui-ci augmente l'adhérence entre les roues et les rails, a particulièrement étudié cette propriété de l'électricité, et il a communiqué à l'Association américaine pour l'avancement des sciences les résultats de ses recherches, que nous résumons ci-dessous.

« L'augmentation d'adhérence, qui, d'après l'auteur, peut quelquefois atteindre 400 %, dépend surtout de l'intensité du courant électrique qui passe dans les rails et augmente avec cette intensité. Elle est surtout sensible pour le fer et l'acier, et provient simplement d'un changement moléculaire des surfaces en contact dû à l'influence de la chaleur considérable développée en ce point du circuit, où la résistance est plus grande que partout ailleurs.

« Pour utiliser cette action du courant sur l'adhérence des roues, M. Ries a disposé sur le truc du train électrique un TRANSFORMATEUR donnant une grande intensité et une tension de $1/2$ à 1 volt, alimenté par une machine à courants alternatifs actionnée par un moteur rapide. Le courant de ce transformateur passe par une des roues, arrive à l'un des rails, le suit jusqu'à la roue de l'autre essieu, traverse cet essieu et revient de la même manière par l'autre rail.

« Les résultats ont été plus avantageux en employant une seconde disposition dans laquelle on utilise la force électro-magnétique. Des essieux de la voiture sont entourés d'un fil métallique dans lequel on envoie un courant d'une intensité suffisante. Les essieux, les roues et les segments de rails compris entre celles-ci forment un circuit magnétique complet, dont l'effet est d'augmenter l'adhérence dans des proportions considérables, pouvant s'élever jusqu'à 200 %.

« Avec cette dernière méthode, qui, d'ailleurs, a déjà été essayée à plusieurs reprises, la dépense de courant est excessivement faible par rapport au résultat obtenu : la solution semble, en somme, assez économique. »

Nous ferons toutefois remarquer que lorsque la vitesse de marche du véhicule dépasse une certaine limite, cette augmentation d'adhérence ne se produit pas.

2° Emploi des conducteurs aériens.

— L'emploi des conducteurs aériens pour le transport

de l'électricité fournie par la machine génératrice a donné lieu à plusieurs applications; nous indiquons les plus intéressantes.

Tramway électrique de l'Exposition de Paris en 1881. — MM. Siemens installèrent à Paris, en 1881, pendant l'Exposition internationale d'électricité, entre la place de la Concorde et le palais de l'Industrie, un tramway électrique dans lequel le courant était conduit par des fils aériens. La ligne avait 500 mètres de longueur; elle présentait une courbe de 55 mètres de rayon, une autre courbe et une contre-courbe de 30 mètres de rayon, et était, sur une partie de son parcours, en rampe de plus de 0^m.62 par mètre. La génératrice (machine Siemens), placée dans le palais de l'Industrie, faisait 550 tours par minute; la réceptrice, placée sur le véhicule, marchait à la vitesse de 465 tours. Le véhicule pesait 5.500 kilogrammes à vide et 9.000 kg^l logrammes quand il contenait cinquante voyageurs; il circulait d'ordinaire à la vitesse de 47 kilomètres à l'heure, mais il pouvait marcher à la vitesse de 70 kilomètres.

Le travail dépensé dans le premier cas était de 3,5 chevaux sur la partie de voie en alignement, de 7,5 chevaux sur la partie en courbe de 8,5 chevaux

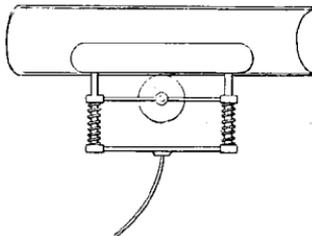


Fig. 3.

sur la partie en rampe. La voie étant construite avec des rails à ornière en contact avec le sol, on se servait, pour conduire le courant, d'une ligne aérienne établie comme suit : deux tubes en laiton, fendus à leur partie inférieure sur toute leur longueur, placés côte à côte et supportés par des poteaux établis le long de la voie, contenaient chacun une sorte de navette de laiton armée de deux tiges verticales qui passaient dans la rainure des tubes, venaient à frottement doux les deux extrémités d'une barre horizontale portant un galeet et qui étaient boulonnées, enfin à une deuxième barre horizontale portant le fil conducteur qui aboutissait à la réceptrice (fig. 3). Entre les deux barres horizontales, l'une portant le fil conducteur, l'autre portant le galeet, se trouvaient deux ressorts à boudin tendant constamment à soulever la barre supérieure et forçant par suite le galeet à s'appuyer contre le tube amenant le courant de la génératrice. Ce système mobile était entraîné par deux cordes agissant respectivement pour chaque sens de la marche. L'un des tubes amenait le courant de la génératrice, qui passait, par le contact mobile correspondant, dans la réceptrice qu'il traversait, et retournait ensuite à la génératrice en empruntant le deuxième contact mobile et le deuxième tube conducteur. L'agent chargé de conduire la voiture réglait la vitesse de marche à l'aide d'un mécanisme qui produisait l'arrêt complet en interrompant le circuit à l'aide d'un

commutateur construit de façon à faire précéder cette rupture de l'introduction dans ce circuit d'une grande résistance, dans le but d'éviter des chocs. La voiture

était également munie d'un frein à main agissant par friction. L'aspect général de la voiture et de la ligne est donné par la fig. 4.

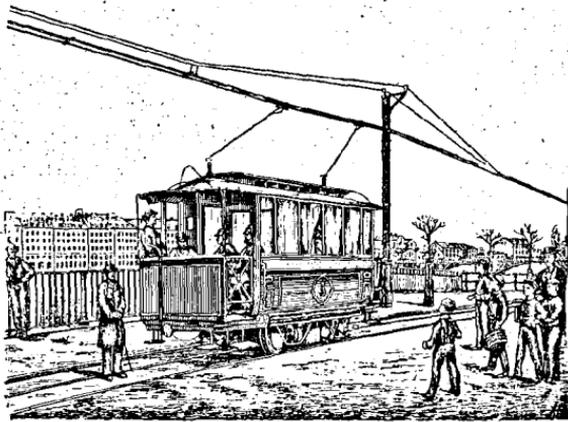


Fig. 4. — Vue perspective du Tramway électrique de Berlin.

Tramway électrique de Berlin (1884). — Nous donnons (fig. 4) la vue perspective du tramway électrique établi à Berlin en 1884, sur le modèle de celui de l'Exposition de 1881, par MM. Siemens et Halske.

Tramway électrique de Lichterfelde modifié. — Les fig. 1 et 2 (v. page 946) représentent les vues en élévation, en coupes transversale et longitudinale du tramway électrique de Lichterfelde auquel on a appliqué le système d'aménée de courant par fils aériens, afin d'éviter les inconvénients que présentait l'emploi des rails isolés comme conducteurs, tels, par exemple, que : perte de courant par défaut d'isolement, mise en court circuit par un objet métallique réunissant les deux rails, etc.

Tramway électrique de Mœdling (Autriche) (1884). — En Autriche, on a construit, près de Vienne, le chemin de fer électrique de Mœdling, qui a un trafic très important pendant la belle saison. La station électrique située à Mœdling renferme trois locomobiles de 12 chevaux nominaux et six dynamos compound Siemens pouvant donner chacune un courant de 30 ampères et 500 volts. D'après une conférence faite par M. Heckenbaum en 1887, lorsqu'il y a sur la ligne deux voitures chargées, savoir : l'une portant le moteur électrique et l'autre remorquée, la puissance indiquée de l'une des locomobiles varie entre 12 et 20 chevaux, suivant la position du train sur la ligne. Le parcours est très sinueux, avec courbes de 18 mètres et plus de rayon et une différence de niveau de 30 mètres entre les stations extrêmes, pour un développement total de 4.480 mètres. En parlant de Mœdling, on s'élève par une série de rampes jusqu'à Hinterbrühl, ce qui exige une dépense considérable de force, tandis qu'au retour les trains descendent naturellement sans avoir besoin de moteur, sauf au démarrage et dans les courbes de petit rayon. Il y a

quatre stations intermédiaires, et la vitesse moyenne est de 16 kilomètres à l'heure. Les conducteurs électriques sont portés par des poteaux de 5^m,40 de hauteur espacés entre eux de 27 mètres, sauf dans les courbes, où ils sont rapprochés à 13^m,50. Ils se composent de tubes fendus en longueurs de 4^m,30, soudés ensemble lorsqu'on les met en place. Pour qu'ils ne prennent pas trop de flèche, ils sont soutenus par des haubans, arrêtés d'autre part au sommet des poteaux. L'intérieur des tubes doit être parfaitement lisse et propre, pour ne présenter aucune résistance mécanique ni électrique au chariot de contact. Le diamètre intérieur est de 25 millimètres, et le diamètre extérieur de 41 millimètres. Le chariot de contact est constitué par une pièce flexible et plate en acier, sur laquelle sont montés trois pistons en bronze formés de deux moitiés entre lesquelles se trouvent des ressorts pour appuyer sur le tube. Ces pistons doivent être renouvelés tous les deux mois. La résistance électrique des conducteurs est de 2 ohms; l'isolement, même en temps humide, ne descend jamais au-dessous de 6.000 ohms. Des mesures ont indiqué une différence de potentiel de 500 volts à la dynamo et de 390 volts à l'extrémité opposée de la ligne, lorsqu'il y avait trois voitures en service. La transmission du mouvement entre le moteur électrique et les roues se fait par des engrenages.

Le chemin de fer de Mœdling est exploité fructueusement depuis 1884; la dépense moyenne est de 0 fr. 21375 par kilomètre-voiture.

Tramway électrique de Francfort-sur-le-Mein à Offenbach (1884). — A la même époque, en 1884, a été construit un chemin de fer électrique à Francfort-sur-le-Mein, d'après le même système que celui établi à Paris en 1881. Seulement la ligne a une longueur totale de 6.560 mètres, et elle présente des rampes de 0^m,030 et des rayons de 15 mètres; elle va du

Römerbrücke dans Francfort, par les villages de Sachsenhausen et Oberrad, jusqu'à la ville d'Offenbach. Elle est à double voie, avec rails ordinaires de tram-

ways. Il y a quatre quatorze voitures, dont dix à moteur électrique pesant, à vide, 4 tonnes, et portant vingt-quatre personnes. On fait des trains de deux voitures.

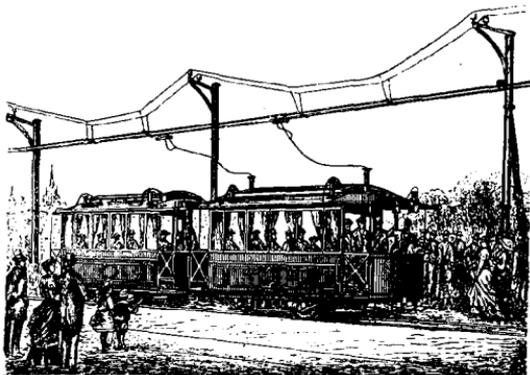


Fig. 5. — Vue perspective du Tramway électrique de Francfort-sur-le-Mein à Offenbach.

La station électrique, située à Oberrad, à mi-chemin de la ligne, renferme deux machines à vapeur horizontales de 120 chevaux chacune et quatre dynamos verticales Siemens donnant chacune un courant de 70 ampères et 300 volts. La vitesse moyenne de marche des voitures est de 42 kilomètres à l'heure. La ligne est en exploitation depuis avril 1884.

Le prix de revient s'est élevé à 0 fr. 24 par kilomètre-voiture.

Voici les chiffres donnés par M. Reckenzaum, indiquant le travail développé par le moteur et par la dynamo dans le cas d'un train de deux voitures pesant au total 8,35 tonnes et marchant à 12 kilomètres à l'heure :

ÉTAT DE LA VOIE.	FORCE EN CHEVAUX SUR	
	LE MOTEUR.	LA DYNAMO.
En palier	3,87	6,47
En rampe de 1 : 45 sans courbe.....	8	13,50
En rampe de 1 : 45 avec courbe.....	9,70	16,70
Au démarrage en rampe de 1 : 150.....	10,23	26,43

Le rendement maximum est de 25 % sur les essieux de la voiture.

Les conducteurs électriques aériens sont établis comme à Meßling, mais leur résistance est seulement de 1,6 ohm. Le chariot de contact porte deux pistons pleins en fer, sans ressorts intérieurs. On renouvelle ces pistons toutes les trois ou quatre semaines. La transmission de mouvement de la dynamo à l'essieu moteur se fait par engrenage.

La fig. 5 donne la vue perspective de ce tramway.

Tramway électrique des mines de Hohenzollern.

— Enfin, comme dernier exemple de tramway électrique fonctionnant avec conducteurs aériens formés de barres métalliques rigides avec chariots à galets, nous citerons celui des mines de Hohenzollern.

La voie a une longueur de 800 mètres; la locomotive électrique représentée fig. 6 peut remorquer des trains composés de douze waggonnets pesant chacun 900 kilogrammes, à la vitesse de 11 mètres par seconde.

La machine dynamo génératrice est actionnée par un moteur à vapeur de 50 chevaux de force. Elle tourne à raison de 1.000 tours par minute, donnant une différence de potentiel de 350 volts (mesurés aux bornes de la machine) et un courant d'une intensité de 37 ampères. Deux câbles de 230 mètres de longueur, passant dans un puits, amènent le courant à la voie souterraine et se relient à la sortie du puits à deux sortes de rails en forme de T placés au-dessus de la voie.

C'est sur ces rails, supportés tous les 4 mètres

par des pièces de fonte boulonnées au toit de la gale-
rie que la réceptrice prend à chaque instant le cou-
rant qui lui est nécessaire. Cette prise de courant se
fait à l'aide de glissières formées de deux étriers en

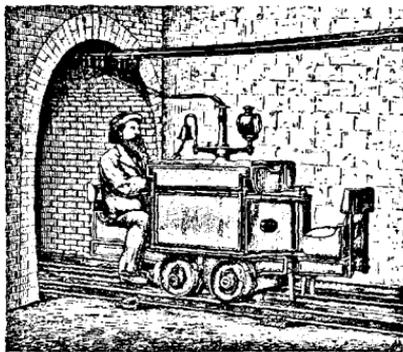


Fig. 6. — Tramway Siemens. (Mines de Hohenzollern.)

fer forgé entre lesquels sont deux pièces de bronze
frottant contre le rail conducteur.

plus de l'application de ce mode de transport de
l'électricité; ils sont empruntés à des installations
faites en Irlande.

3^e Emploi d'un troisième rail comme
conducteur. — Nous ne citerons que deux exem-

Tramways électriques de Portrush et de Bess-

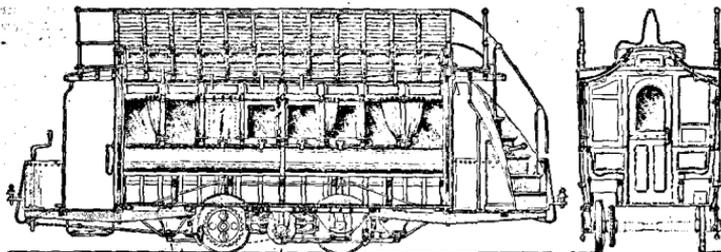


Fig. 7. — Vues en élévation longitudinale et transversale du Tramway de M. Holroyd Smith.

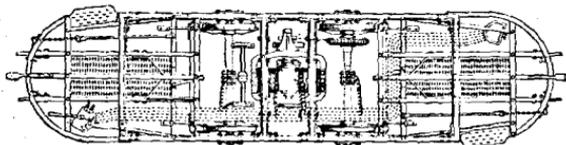


Fig. 8. — Vue en plan du Tramway de M. Holroyd Smith.

brook, en Irlande (1885). — La première de ces lignes,
la plus longue de celles qui sont actuellement exploitées
électriquement, a 9.600 mètres. Les dynamos motrices
sont actionnées par deux turbines de 50 chevaux ins-

tallées à 1.450 mètres du point le plus rapproché de
la ligne. La résistance électrique des conducteurs est
de 4,9 ohm; le courant fourni par la génératrice est
de 100 ampères et de 250 volts. La transmission du

mouvement se fait entre le moteur électrique et les roues, par chaînes et roues dentées.

Le chemin de fer électrique de Bessbrook-Newry a un développement de 4.800 mètres; la voie a une largeur de 0^m.90; elle présente des pentes moyennes de 1:85 et des pentes maximum de 1:50. Les deux machines dynamos génératrices du système Edison-

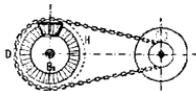
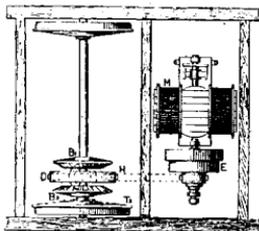


Fig. 9.

Hopkinson sont actionnées par une turbine qui donne 62 chevaux. Le matériel roulant consiste en deux voitures électriques portant chacune trente-huit voyageurs, pesant 3 tonnes en pleine charge, et six wagons à marchandises pouvant porter chacun 2 tonnes. On fait des trains composés d'une voiture à voyageurs remorquant trois wagons; ces trains circulent à une vitesse de 13 à 16 kilomètres, imposée par les règlements; mais on peut atteindre une vitesse de 24 kilomètres à l'heure. La transmission de mouvement entre le

moteur électrique et les roues se fait par chaînes et roues dentées. La ligne a été inaugurée en septembre 1885. Les dépenses de traction, y compris salaires, réparations et location de la chute d'eau, sont de 0 fr. 25 par kilomètre de train formé d'une voiture avec tous ses voyageurs et six wagons chargés.

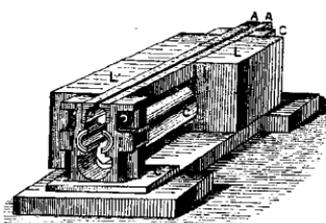


Fig. 10.

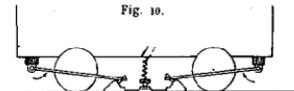


Fig. 11.

4^e Emploi des conducteurs souterrains. — Nous prendrons comme exemples de ce mode de transmission celui imaginé par M. Holroyd Smith et qui figurait à l'Exposition des inventions à Londres en 1886, et celui installé à Blackpool; puis nous donnerons des indications sommaires sur quatre autres systèmes plus récents.

Système de M. Holroyd Smith (1886). — Les fig. 7 et 8 donnent les vues en élévation longitudinale et

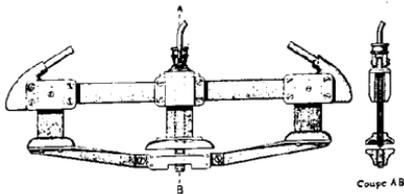


Fig. 12. — Vue du Collecteur mobile.

transversale et en plan de la voiture, roulant sur une voie de 4^m.42 de largeur. Afin de pouvoir franchir les courbes de faible rayon, l'essieu moteur était pourvu d'un engrenage différentiel (fig. 9).

Dans cette figure, M représente un moteur Siemens faisant 650 tours par minute, E représente la combinaison d'un manchon à friction et d'un pignon à chaîne. Cette chaîne, qui est en acier, passe sur la roue folle H, laquelle porte un pignon conique engageant avec B. et B; B₁ est claveté sur l'essieu tandis que B₂ est solidaire de la roue T, qui peut tourner librement sur l'essieu.

Le courant passe d'un collecteur et retourne de là par une pince spéciale à l'essieu et par les roues aux rails, qui complètent le circuit.

Le conducteur central est formé par la réunion de deux demi-cylindres indépendants, de sorte que les pierres et la boue qui peuvent tomber par l'ouverture étroite nécessaire au passage du collecteur se rendent au fond du conduit. La fig. 10 montre comment est disposée la voie; C C sont des chaises en fonte placées sur des supports en bois; les chaises servent de points d'attache aux fers cornières AA et

aux conducteurs semi-circulaires en cuivre, qui sont isolés par les blocs 1, 1.

Quant au collecteur mobile qui parcourt le tuyau formé par les deux conducteurs demi-cylindriques et qui est représenté *fig. 11*, il est entraîné par la voiture au moyen de deux cordes en cuir assez faibles pour qu'en cas d'obstruction du conducteur elles cassent sans endommager d'autres parties de l'appareil, le courant étant amené au moteur par une pince qui se détache dans ce cas. *Fig. 12* donne la vue à plus grande échelle du collecteur mobile.

Tramway électrique de Blackpool. — C'est sur le principe de l'appareil que nous venons de décrire qu'a été installé le tramway électrique de Blackpool. Mais on a simplifié certains détails du système. Ainsi, on a abandonné l'engrenage différentiel, et les deux roues sont calées sur l'essieu moteur.

Les renseignements fournis sur cette installation sont très incomplets. La longueur totale de la ligne est de 3.200 mètres; le matériel roulant se compose de dix voitures de dimensions variables, la plus grande ayant cinquante-six places assises et la plus petite pouvant recevoir trente personnes. La station d'électricité, placée à mi-chemin, renferme deux machines à vapeur de 25 chevaux nominaux, conduisant quatre dynamos Elwell-Parker montées en dérivation et donnant un courant maximum de 480 ampères et 300 volts. La force électromotrice ordinairement employée est de 220 volts et se réduit à 168 volts et à 185 volts aux extrémités de la ligne. Les pertes de courant par suite de défaut d'isolement sont à craindre dans un pareil système. M. Smith estime que dans le cas de Blackpool elles correspondent à une dépense de force motrice de 7,2 chevaux. Mais c'est une simple estimation. Les dépenses d'exploitation ne s'élevaient pas à 0 fr. 25 par kilomètre-voiture.

Système de M. Frank Wynne. — M. W. Frank Wynne a étudié un système de tramway électrique à conduite souterraine complètement fermée qui paraît présenter des avantages sérieux. Le courant est amené aux réceptrices des voitures par un transfère mobile avec la voiture, qui relie les conducteurs abrités dans la conduite à une série de contacts extérieurs logés dans le couvercle de la conduite et mis en rapport avec la réceptrice par un frotteur. On trouvera la description détaillée de ce système et les dessins dans le journal *la Lumière électrique*, n° 43, t. XXX.

Système de M. E. Irish. — M. E. Irish, de Cleveland, a imaginé un système de tramway électrique avec canalisation électrique souterraine, mais disposé de façon à éviter l'inconvénient résultant de l'établissement d'un caniveau avec ouverture au milieu de la rue. M. Irish a pensé que si l'on pouvait renfermer un conducteur dans une canalisation élastique, le passage de la voiture pourrait, en produisant une déformation, établir un contact électrique avec le conducteur. Il emploie donc une conduite flexible de caoutchouc, qui s'abaisse sous la pression de gaisets de contact et revient en place lorsque cette pression cesse, et avec assez de force pour détacher le conducteur. Le tube renfermant les conducteurs électriques est hermétiquement fermé sur toute sa longueur; ces conducteurs, au nombre de deux, forment un circuit métallique complet. Il est à remarquer que les systèmes basés sur le même principe de l'établissement d'un contact électrique par suite d'une flexion produite par le poids de la voiture avaient déjà été brevetés par MM. Ayrton et Perry, et Siemens et Halske, mais les dispositifs étaient tout différents. (Voir plus loin : 5° *Autres systèmes de conducteurs*.)

Système de MM. Linoff et Bailey. — Le système de tramway électrique proposé par MM. Linoff et Bailey a été essayé pratiquement en Angleterre en 1888 et a excité un certain intérêt. Ce système se distingue de ceux actuellement connus par quelques détails de construction ingénieux. Le conducteur principal est constitué par un tube recouvert d'un isolant et divisé en sections reliées par des joints flexibles pouvant céder facilement aux dilatations. Ce tube est supporté dans une conduite centrale, en dehors de sa fente, de manière à ne pas être atteint par l'eau ni par les ordures qui pourraient en tomber; il est pourvu de contacts, sur lesquels vient frotter un câble en cuivre relié à la voiture. Une série de dispositions mécaniques, dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer, permettent au système du câble de suivre avec la plus grande facilité les courbures de la voie.

Système de M. Allsop. — Enfin, dans un système proposé par M. Allsop, le conducteur principal qui amène le courant repose sur une série de bras attachés à des isolateurs qui se trouvent à l'abri dans une conduite complètement fermée. Le conducteur amène son courant au tramway par le contact d'un galet porté par la voiture, et qui soulève, à mesure qu'elle avance, le conducteur au-dessus des bras dont il a été question plus haut.

5° Autres systèmes de conducteurs.

— On a proposé d'autres systèmes de conducteurs qui n'ont donné lieu jusqu'ici à aucune application, mais qui ont été inspirés par le désir d'éviter des pertes de courant par suite d'isolement incomplet ou défectueux. Nous nous contenterons de les mentionner sommairement.

Dans le système de traction électrique de MM. Ayrton et Perry, le courant de la génératrice circule dans un fil parfaitement isolé placé le long de la voie et passe dans la réceptrice en empruntant un rail auxiliaire divisé en sections isolées les unes des autres et de la terre. A cet effet les différentes sections de ce rail auxiliaire reposent sur un certain nombre de disques élastiques en acier, placés sur des supports en fonte, à une certaine distance du sol, mais isolés de ces supports par un siège en ébonite. Chaque disque est muni d'une tige verticale reliée métalliquement au conducteur et venant au contact d'une autre tige fixée au rail auxiliaire, lorsque ce dernier fléchit.

Il est facile de comprendre qu'en armant les diverses voitures du train de brosses métalliques frottant sur le rail auxiliaire on le déprime et on met la section de ce rail sur laquelle se trouve le train en relation directe avec la ligne. Le courant de la génératrice passe alors par les brosses métalliques reliées à la locomotive et par suite à la réceptrice.

Une autre disposition indiquée par les mêmes ingénieurs consiste toujours à employer un rail auxiliaire divisé en sections d'une longueur un peu inférieure à celle du train et à garnir la locomotive et le

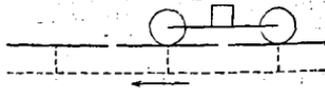


Fig. 13.

dernier véhicule de ce train de contacts agissant sur des ponts placés aux extrémités de chaque section (*fig. 13*). La locomotive ouvre le pont et force ainsi

le courant de la génératrice à passer par la réceptrice, tandis que le dernier véhicule reforme le pont et isole la section du rail auxiliaire que vient de parcourir la locomotive. Cette conception est ingénieuse, mais ne paraît pas pratique.

MM. Pollak et Buiswanger ont imaginé une autre disposition consistant à employer un câble conducteur isolé, mis en communication avec un troisième rail sectionné par l'action d'un AIMANT et d'une armature en fer; l'aimant est logé sous la voiture, l'armature sous le rail, de telle sorte qu'au passage l'attraction qui s'exerce entre eux établit le contact temporaire entre le câble et le rail. Mais ce système paraît également devoir présenter de nombreux inconvénients dans la pratique.

Conclusions. — L'état actuel de la locomotion électrique à l'aide du courant fourni par une machine fixe peut, à notre avis, être résumé comme suit :

Tous les types de machines dynamo-électriques peuvent être utilisés comme génératrices et comme réceptrices. A mesure que la réceptrice s'éloigne de la génératrice, la résistance du conducteur augmente et il arrive un moment où le courant devient trop faible. Suivant la théorie de M. Deprez (V. TRANSPORT DE LA FORCE), il faut des tensions élevées pour vaincre l'accroissement de distance, étant donné que l'on ne peut pas dépasser un certain diamètre pour le conducteur. Cette tension peut être obtenue par l'ACCROULEMENT de plusieurs petites machines ou par des machines spéciales de grandes dimensions (système Deprez). Mais l'emploi de ces hautes tensions ne présenterait-il pas de graves inconvénients dans la pratique, tant pour la conservation des personnes que pour celle du matériel ?

Les réceptrices sont généralement placées sur la voiture qui transporte les voyageurs, afin d'utiliser l'adhérence de ce véhicule. Dans le cas où l'on traine plusieurs voitures, on peut placer la réceptrice sur le premier véhicule, qui devient ainsi une sorte de locomotive électrique, ou on peut munir chaque voiture d'une réceptrice plus petite, ce qui permet alors d'utiliser pour l'adhérence le poids total du train. L'arbre de la ou des réceptrices transmet son mouvement de rotation aux essieux à l'aide d'engrenages, d'une chaîne de Gall, ou enfin de courroies en feuilles d'acier. On peut employer la transmission elle-même à faire varier la vitesse (système Reckenzaum Ward et Edison); on place parallèlement à l'essieu un axe auxiliaire qui s'approche ou s'éloigne de celui-ci; ou bien on se sert de deux transmissions distinctes accolées et pouvant se substituer l'une à l'autre.

Quand la vitesse du véhicule augmente, la FORCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE de la réceptrice augmente également, de sorte que cette machine agit comme frein, et il arrive un moment où la vitesse prend un régime uniforme. En ce qui concerne la transmission du courant de la génératrice à la réceptrice (c'est là la principale difficulté), on a vu qu'elle pouvait se faire : par une barre isolée et les rails; par les rails seuls, l'un servant à l'envoi du courant, l'autre au retour; par une ligne placée dans un caniveau; enfin par des conducteurs aériens.

Le premier système n'est réellement exempt d'inconvénients que dans le cas où le chemin de fer est aérien ou lorsque la voie peut être exhaussée.

Le deuxième système présente, outre les inconvénients du premier, celui d'exiger une bonne liaison métallique des rails formant une même file.

Le troisième système a donné de bons résultats.

Enfin le quatrième s'impose toutes les fois que la voie est placée au niveau du sol et est traversée sur une grande partie de son étendue par des voitures et par le public.

En ce qui concerne le montage des conducteurs :
1° Lorsque le moteur est placé en dérivation sur les deux conducteurs de la génératrice G (fig. 14), les conditions dans lesquelles se fait le transport varient constamment et sont de plus en plus désavantageuses, puisque la résistance de la ligne s'accroît à mesure que la réceptrice R s'éloigne de la génératrice G.

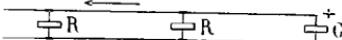


Fig. 14.

2° Lorsque l'on adopte le montage en dérivation par opposition (fig. 15), qui consiste à faire revenir à son point de départ le conducteur attaché à l'un des pôles de la machine, afin d'avoir une boucle à deux branches, on augmente la résistance du circuit; mais cette résistance reste constante quelle que soit la distance de la réceptrice R à la génératrice G.

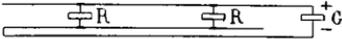


Fig. 15.

3° Le meilleur mode de montage est celui dit « en tension », parce que le courant traverse tout entier les machines qui se trouvent sur les divers points de la ligne (fig. 16). Le conducteur principal qui part du pôle + de la génératrice G est divisé en sections; celui qui part du pôle - se rend à l'extrémité de la ligne, puis revient parallèlement au conducteur positif, et est divisé comme lui en sections. Le fonctionne-

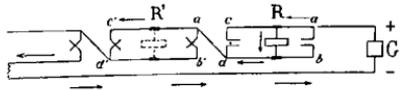


Fig. 16.

ment du système est facile à comprendre : lorsque la voiture qui porte la réceptrice passe de la position R à la position R', elle produit automatiquement le rétablissement des communications ab et cd et la rupture des communications $a'b'$ et $c'd'$, de sorte que le courant partant du pôle + de la génératrice parcourt le chemin indiqué par les flèches pour revenir au pôle - de la machine G. Ce courant est toujours forcé de circuler dans le même sens, puisqu'en passant d'une section ac à la section suivante $a'c'$, la voiture rétablit les communications ab et cd et interrompt, au contraire, les circuits $a'b'$ et $c'd'$, ainsi qu'il a été expliqué plus haut.

Enfin, rappelons la disposition de montage en tension (système Ayton et Perry), qui consiste à diviser la voie en sections d'une longueur un peu inférieure à celle d'un train et à réunir ces sections par des ponts, normalement fermés, ouverts par le premier véhicule du train, et refermés par le dernier, de façon à forcer le courant à passer par la réceptrice.

Résultats financiers. — Les tramways électriques construits jusqu'à présent dans un but purement industriel sont en petit nombre; ceux qui empruntent la force motrice nécessaire pour la conduite de la génératrice à une chute d'eau permettent de réaliser une économie sur la traction à vapeur, puisque la force initiale ne coûte presque rien.

Mais lorsque la machine génératrice doit être actionnée par un moteur à vapeur, la dépense s'élève beaucoup. Il est facile de s'en rendre compte; le prix du cheval-heure ne dépend pas seulement de la quantité de charbon brûlé, mais aussi de l'intérêt et de l'amortissement du capital de premier établissement, qui est assez élevé pour les chemins de fer électriques. Ce n'est que dans des circonstances spéciales que la traction électrique peut avantageusement lutter contre les autres modes de traction. En voici un exemple. A Baltimore (États-Unis), on a établi un chemin de fer électrique de 3.200 mètres de longueur sur lequel il n'y a que des successions de rampes qui atteignent jusqu'à 66 pour 1.000 et des courbes de 12 à 24 mètres de rayon. On employait précédemment des omnibus à traction par chevaux. La dépense moyenne pour les chevaux et par voiture était, pour cette ligne, de 32 fr. 50 par jour. Le prix de revient de l'électricité est de 60 francs, mais il y a beaucoup de voyageurs et on peut mettre en service, avec cette dépense journalière, trois voitures à moteur électrique, ce qui ramène à 20 francs les frais par voiture. Dans ce cas spécial, il y a donc économie sur la traction, et il est possible de doubler le trafic.

Les occasions de ce genre sont assez rares, et pour que l'on puisse généraliser les applications, il faut attendre que de nouveaux progrès aient été réalisés dans cette branche de l'industrie électrique et que l'on soit parvenu à augmenter dans une mesure appréciable la proportion du travail utilisable au travail produit au point de départ; à perfectionner d'une façon sensible les organes de transmission de l'électricité de façon à réduire dans une forte proportion les pertes sur la ligne; et, enfin, à permettre ce transport de l'électricité à de grandes distances, sans quoi on serait obligé de multiplier sur le parcours les usines de production de la force et on retomberait alors dans l'inconvénient de l'emploi de machines de faible puissance lesquelles consomment relativement beaucoup plus de combustible que les moteurs de grandes dimensions.

II. — UTILISATION DE L'ÉLECTRICITÉ EMMASSINÉE DANS DES ACCUMULATEURS.

Pour éviter une partie des inconvénients que l'on rencontre dans la pratique lorsque l'on transmet la force électriquement par un conducteur, on a tenté de se servir de l'électricité accumulée à l'avance dans des *générateurs secondaires* ou *accumulateurs*, qui sont alors placés sur le véhicule à mettre en mouvement.

Au premier abord, cette solution paraît beaucoup plus simple que la précédente. Mais on transporte un poids mort considérable dont on n'a pas besoin, puisque le poids propre du véhicule et de sa charge suffit à produire l'adhérence nécessaire. De plus, on perd une quantité notable d'électricité lors de la charge et de la décharge des accumulateurs (V. ACCUMULATEURS). Aussi les applications de ce genre de traction n'ont-elles pas été très nombreuses et ont-elles eu généralement une très faible durée.

En 1833 on a fait des expériences de locomotion électrique avec accumulateurs, à Paris, avec une voiture-tramway de la Compagnie des Omnibus, du plus grand modèle, puis à Londres; en 1834 on fit de nouveaux essais à Paris; en 1835, à Bruxelles et à Anvers. A Londres, on fit circuler dans Kennington un omnibus électrique qui marchait à une vitesse de 6 milles (9.654 mètres) à l'heure; la source d'électricité se composait d'accumulateurs Faure-Sellon-Wolckmar pesant 36 kgr. 28 chacun. Le courant arrivait dans une machine dynamo-électrique Siemens qui agissait sur l'essieu du véhicule. Les accumulateurs pouvaient débiter assez d'électricité pour entretenir le mouvement de l'omnibus pendant sept heures.

Les essais faits en 1833 à Paris furent ensuite repris en 1834 par la French Electrical Power Storage Company, qui avait complété les études et cherché à remédier aux inconvénients révélés par la première expérience. On aménagea, comme en 1833, une voiture-tramway de la Compagnie des Omnibus, grand modèle; voici une note qui résume les résultats obtenus :

On employait comme générateurs d'électricité des accumulateurs Faure, au nombre de quatre-vingts, couplés en tension et ayant un poids total de 2.460 kilogrammes. La force électromotrice du courant fourni par cette batterie était de $80 \times 2 = 160$ volts.

Au moyen d'un commutateur spécial, on faisait varier le nombre d'éléments de la batterie fournissant le courant à la dynamo, de façon à proportionner la force du courant à l'effort que devait développer la machine motrice. La dynamo était du type Siemens D³; le fil de la bobine avait 0^m,0025 de diamètre; celui des électros, 0^m,0035. Elle donnait 450 kilogrammètres par seconde avec un courant de 160 volts et 40 ampères. Elle était fixée au châssis de la voiture au moyen d'étriers boulonnés sur ce châssis.

Sur l'axe de la dynamo était fixée une poulie actionnant un mouvement différentiel destiné à remédier à l'inconvénient de la différence de vitesse des deux roues d'un même essieu dans les parties de voies en courbe. Pour passer de la marche avant à la marche arrière, il suffisait, après avoir interrompu le courant, de changer la position des balais de la dynamo de 180°, après quoi on rétablissait le courant. Cette manœuvre se faisait au moyen d'un simple levier placé à portée de la main du conducteur.

L'avant-train de ces voitures pouvait décrire un angle assez grand, mouvement qui s'opérait soit par suite des changements de direction dans les courbes, soit pour dérailler. Cette manœuvre était faite par le conducteur au moyen d'une roue placée à la portée de sa main; sur l'axe de cette roue était fixé un pignon engrenant avec un quart de cercle denté solidaire de l'avant-train.

Les fig. 17 et 18 donnent la vue en plan et en élévation d'une voiture-tramway aménagée ainsi que nous venons de l'expliquer. On supprima ensuite le siège du conducteur, et on adapta à l'avant du véhicule une plateforme analogue à celle placée à l'arrière. On groupa sur cette plateforme tous les appareils, tels que commutateurs, interrupteurs, levier de changement de marche, etc. Le tramway électrique a fonctionné onze fois; le poids total du véhicule, y compris les voyageurs, était de 9.250 kilogrammes. Des parcours variant de 20 à 32 kilomètres ont été accomplis avec un plein succès; la vitesse moyenne de marche était de 10 kilomètres à l'heure, le courant moyen de 160 volts et 35 ampères, ce qui donnait une force de

$$\frac{35 \times 160}{736} = 7 \text{ chevaux } 1/2 \text{ environ.}$$

Dans le courant de l'année 1885 des essais de traction électrique par accumulateurs furent effectués sur la ligne de la rue de la Loi à Bruxelles avec une ancienne voiture de tramway aménagée pour la circonstance. Le moteur, placé sous la voiture, était une machine Siemens type D³ à courant continu. Les accumulateurs étaient placés sous les banquettes; ils étaient au nombre de quatre-vingt-seize, divisés en quatre séries de vingt-quatre. Un commutateur permettait d'introduire successivement ces séries en tension dans le circuit pour produire la force électromotrice et le courant convocables. Cette disposition était vicieuse, parce que les éléments d'une même batterie travaillaient inégalement. Le poids brut d'un élément était de 13 kgr. 65 et celui d'une batterie de 1.310 kgr. 40, liquide compris. Le chargement des quatre-vingt-seize accumulateurs se faisait au moyen d'une machine Gramme, type dit « d'atelier », excitée en dérivation, fonctionnant à une vitesse moyenne de 1.400 tours en produisant un courant moyen de 20 ampères, et une force électromotrice moyenne de 105 volts environ aux bornes. Le travail électrique moyen de chargement était ainsi de 2,83 chevaux. La ligne était en rampe de 2 ‰ sur 300 mètres, en rampe de 1/2 ‰ sur 295 mètres, en pente de 1/4 ‰ sur 203 mètres, puis en pente de 1.67 ‰ sur 302 mètres et de 0,11 ‰ sur 171 mètres. De là elle était de nouveau en rampe de 3,12 ‰ sur 350 mètres. Sa longueur totale atteignait 1.630 mètres. La voiture marchait à une vitesse de 9,5 à 10 kilomètres à l'heure. Elle a fonctionné en service régulier pendant plus d'un mois et a été envoyée ensuite à l'Exposition d'Anvers, où l'on organisa un concours de traction mécanique entre les différents moteurs ou voitures automobiles reconnues propres à la traction dans les villes.

La longueur de voie affectée à ce concours était de 2.295 mètres; le profil, très régulier, ne comportait qu'une seule rampe de 0^m,001 sur 45 mètres de longueur.

Le poids de la voiture électrique à vide était de 2.570 kilogrammes; le poids d'une batterie de quatre-vingts éléments était de 1.120 kilogrammes; l'électromoteur et le mouvement pesaient 550 kilogrammes, soit un total de 4.230 kilogrammes. Les accumulateurs étaient divisés en deux batteries, dont l'une fonctionnait dans la voiture pendant que l'autre était en chargement. La batterie chargée dans l'après-midi n'entraînait en service que le lendemain matin; le chargement ne se faisait que pendant la journée. Les installations fixes comprenaient une machine Gramme, type d'atelier, dont les inducteurs étaient excités en dérivation. La force électromotrice et l'intensité du courant de charge étaient mesurés de quinze en quinze minutes au moyen du VOLTMÈTRE Deprez et de l'AMPÈRÈMÈTRE Ayrton. L'énergie fournie aux accumulateurs se déduisait des chiffres relevés. Il résulte des expériences faites à Anvers que le charbon consommé par train-kilomètre était de 1 kgr. 658 pour la voiture électrique cir-

culant seule et de 1 kgr. 956 pour la voiture électrique avec remorque. M. Blanchard, au Rapport duquel nous empruntons les renseignements qui précèdent (*Revue universelle des Mines*), calcule le prix de la traction électrique par accumulateurs sur une ligne analogue à celle de la rue de la Loi à Bruxelles et arrive au chiffre de 0 fr. 169 par kilomètre, inférieur à celui de la traction par chevaux.

En décembre 1885, un tramway électrique combiné par M. Reckenzaum a été expérimenté à Berlin. La force motrice était également fournie par des accumulateurs. Les moteurs étaient de deux types: l'un pesant 10 kgr. 5 donnant environ 1/8 de cheval pour 3 ampères et 60 volts, l'autre pesant 87 kilogrammes donnant 1,37 cheval à 1.500 tours pour 61,5 volts, et 31 ampères, soit 493 kilogrammètres à la minute par kilogramme.

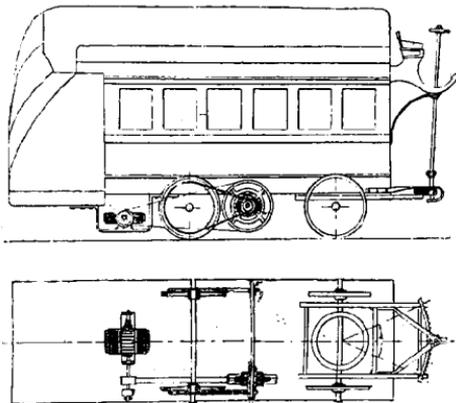


Fig. 17 et 18. — Vue en élévation et en plan d'une Voiture de tramway à traction électrique (type de la Compagnie générale des Omnibus de Paris).

L'expérience a été faite sur une voiture à huit roues, pesant, y compris la transmission, les accumulateurs, trente-deux voyageurs, le cocher et un conducteur, 6.000 kilogrammes. Avec 60 accumulateurs montés en tension par séries de 15 et ayant une force électromotrice de 110 à 120 volts aux bornes, et un moteur de 190 kgr. 5 pouvant fournir 4 à 9 chevaux de force, on a obtenu une vitesse normale de 1.000 tours par minute et la progression était de 11 à 16 kilomètres à l'heure.

Dans sa communication à la Société électro-technique de Berlin sur le système de tramways électriques de M. Reckenzaum, M. Zacharias a chiffré le prix de revient de la traction électrique et l'affirme que ce prix est inférieur à celui de la traction par chevaux (22 décembre 1885).

En 1885 également, des essais de traction électrique avec accumulateurs furent faits à Anvers pendant l'Exposition internationale. La voiture pesait à vide 2.560 kilogrammes, et portait quarante accumulateurs pesant 1.120 kilogrammes divisés en quatre séries, une dynamo genre Siemens et sa transmission d'un poids de 560 kilogrammes, soit un poids total de 4.210 kilogrammes. Le véhicule pouvait porter qua-

torze voyageurs et remorquait à l'occasion une deuxième voiture.

Lorsque la machine à vapeur, actionnant la ma-

chine Gramme employée à charger les accumulateurs, développait un travail de 4 chevaux, ceux-ci emmagasinaient 2,28 chevaux, ce qui représente un ren-

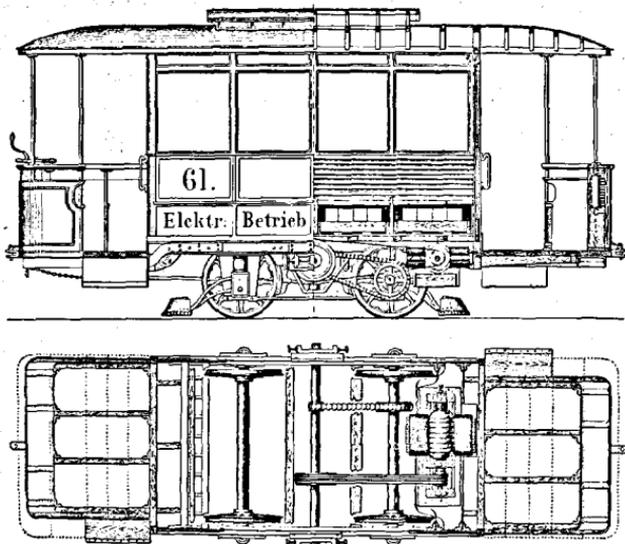


Fig. 19 et 20. — Vue en élévation, en coupe longitudinale et en plan de la Voiture de tramway à traction électrique de Hambourg.

dement de 37 %. L'intensité du courant variait de 25,03 à 23,51 ampères pendant la durée du charge-

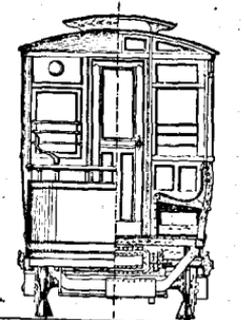


Fig. 21. — Vue en bout et en coupe transversale du Tramway électrique de Hambourg.

ment. On ne pouvait compter que sur un rendement de 30 à 40 % aux roues motrices ou sur le rail, l'énergie emmagasinée ne se transmettant pas inté-

gralement des accumulateurs à la dynamo de la voiture.

En adoptant 70 kilogrammes comme poids moyen d'un voyageur, le rapport du poids mort au poids transporté était de 1,78.

La dépense par voyageur-kilomètre, en combustible, a été estimée à 0 kgr. 070. La commission chargée des expériences déclara que le train électrique devait être préféré aux autres systèmes de traction par locomotives à vapeur ou à air comprimé, mais que malheureusement il restait à savoir si la durée des accumulateurs, de la dynamo et de ses transmissions exposées à la poussière serait suffisante dans la pratique.

Des essais du même genre et suivant le même système furent répétés à Hambourg. Voici les résultats obtenus dans cette dernière ville, d'après une communication faite par le capitaine Douglas Galton à la Society of Arts. Les fig. 19, 20 et 21 donnent le plan, les vues en élévation, en coupe longitudinale et en coupe transversale du type de voitures qui a été mis en service.

Le poids mort du véhicule était de 4.830 kilogrammes, savoir 3.373 kilogrammes pour la voiture proprement dite, 1.200 kilogrammes pour les accumulateurs et 257 kilogrammes pour la dynamo, type Siemens. Les accumulateurs système Julien, au nombre de quatre-vingt-seize, étaient placés dans huit compartiments avec contacts à frottement; chaque compartiment contenait quatre boîtes de trois accumulateurs res-

fermant quinze plaques. Un commutateur placé près du conducteur permettait à ce dernier d'accoupler les quatre groupes d'accumulateurs :

1° En quantité ou en surface, ce qui donnait un courant de $24 \times 2 = 48$ volts.

2° Par deux en quantité sur deux en série, ce qui donnait un courant de 96 volts.

3° Deux en surface et deux en série, ce qui, en assemblant ces deux groupes en série, donnait $48 + 96 = 144$ volts.

4° Tous quatre en série, ce qui donnait 192 volts.

La capacité de chaque accumulateur était de 92 ampères-heure; l'énergie accumulée de :

$$192 \text{ volts} \times 92 \text{ amp.-h.} = 17.664 \text{ wats-heure.}$$

La ligne avait 5.360 mètres de longueur; sa plus forte déclivité était de 1/40 sur 100 mètres de long, mais il n'y avait que 800 mètres de vole en palier. Le reste de la voie était en pentes ou en rampes plus ou moins fortes et en courbe. La ligne était donc difficile.

L'essai a duré huit mois et a été satisfaisant; on a fait, pendant ce laps de temps, de nombreuses expériences. La charge totale était de 7.000 kilogrammes; si on décharge les 4.830 kilogrammes de poids mort, il reste 2.170 kilogrammes pour le poids de vingt-neuf voyageurs, du mécanicien et du conducteur, soit trente et une personnes, à raison de 70 kilogrammes chacune.

Dans les parties où la déclivité était maximum, le travail nécessaire pour la traction était de :

$$54 \text{ amp.} \times 192 \text{ volts} = 10.368 \text{ wats.}$$

Dans les parties en palier, le travail était de 49 ampères \times 96 volts = 4.824 wats, et le dynamo faisait 900 tours par minute. Le diamètre de la poulie de la dynamo était le 1/10 de celui des roues motrices, lequel était de 0^m,738, soit une circonférence de 2^m,312. A la vitesse de 900 tours de la machine correspondait donc une vitesse de véhicule de :

$$\frac{900 \times 2^{\text{m}},312}{10} = 208^{\text{m}},080 \text{ par minute,}$$

$$\text{ou } \frac{208,080}{60} = 3^{\text{m}},46 \text{ par seconde,}$$

ou encore 42 kil.485 mètres par heure.

Les essais ayant été faits pendant la nuit, on a pu augmenter la vitesse de marche. On a calculé que la puissance de traction était de 10 kilogrammes par tonne, plus 1 kilogramme pour chaque millimètre de rampe par mètre et pour 1 mètre de vitesse par seconde.

Si on désigne par l le poids en tonnes de 1.000 kilogrammes, par g la rampe en millimètres par mètre, et par s la vitesse en mètres par seconde, l'effort T de traction se calcule à l'aide de la formule :

$$T = (l \times 10 + l \times g) s.$$

Cette formule donne des résultats exacts lorsque les rails sont en bon état; mais dans les parties en courbe et lorsque les rails sont engorgés, il est nécessaire de multiplier le chiffre obtenu par le coefficient 1,5.

Le parcours de la ligne, aller et retour, soit

11 kilomètres, s'effectuait en cinquante-cinq minutes et on absorbait :

$$96.802 + 91.652 = 191.454 \text{ wats-minute,}$$

$$\text{ou } \frac{191.454}{55} = 3.481 \text{ wats par minute,}$$

$$\text{ou par kilomètre } \frac{191.454}{11} = 17.405 \text{ wats-minute,}$$

$$\text{ou par kilomètre } \frac{17.405}{60} = 290 \text{ wats-heure.}$$

Comme dans cet essai les accumulateurs étaient accouplés en quantité, on peut compter sur un rendement de 80 %, ce qui obligeait à charger les accumulateurs de $\frac{250 \times 100}{80} = 362$ wats-heure par kilomètre parcouru.

Comme l'énergie emmagasinée dans les accumulateurs était de 17.664 wats-heure, on pouvait parcourir $\frac{17.664}{290} = 60$ kilomètres; mais c'est une limite extrême sur laquelle il n'était pas prudent de compter, car il pouvait arriver un accident en cours de route, et il était bon de ne pas décharger entièrement les accumulateurs, dans l'intérêt même de leur conservation.

Dans le courant des essais, on releva les wats-heure dépensés par kilomètre parcouru et on trouva des différences très notables: on constata une dépense variant de 880 à 800 wats-heure, suivant l'état de l'atmosphère et de la voie; ce dernier chiffre correspond à une journée où les gorges des rails étaient remplies de boue congelée. Lorsque le dynamo-motrice du tramway était actionnée par un courant de potentiel constant, fourni par une dynamo fixe, il arrivait que sur les parties de vole en rampe où l'effort de traction augmentait, le dynamo tournait moins vite et une partie de l'énergie du courant était transformée en chaleur, d'où une perte qui pouvait devenir assez notable. Lorsque, au contraire, le courant qui actionnait le dynamo était fourni par des accumulateurs, on pouvait, en changeant le groupement de ces derniers, proportionner le courant au travail à effectuer; c'est un des principaux avantages de l'emploi des accumulateurs. Un moyen de remédier aux inconvénients du courant à potentiel constant consiste à employer deux moteurs dont l'un serait suffisant pour la marche en palier et dont l'autre servirait de renfort pour la circulation sur les parties en rampe; ces deux moteurs devraient être accouplés en quantité.

MM. Philippart frères ont construit en 1888 un nouveau tramway électrique à accumulateurs qui fonctionne à Paris sur l'avenue de la Grande-Armée, entre la place de l'Étoile et la Porte Maillot. L'électricité est fournie par une batterie de cinquante-quatre accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar d'un type spécial, à plaques jumelles, pouvant débiter jusqu'à 25 ampères-à régime normal, d'une capacité de 150 ampères-heure. En comptant 1,8 volt moyen utile par accumulateur, la capacité totale jusqu'à épuisement serait de 31.000 wats-heure ou 50 chevaux-heure, soit pratiquement 40 chevaux-heure permettant un service de six heures de marche effective sans rechargement de la batterie. Le poids total du véhicule en ordre de marche, chargé de cinquante voyageurs, est d'environ 9.000 kilogrammes, dont 1.500 kilogrammes pour les accumulateurs, 3.500 kilogrammes pour la voiture et 750 kilogrammes pour le moteur, la transmission et les appareils divers. Le moteur électrique, placé à l'avant du véhicule, est une machine dynamo genre Siemens, dont la vitesse angulaire est de 1.600

à 1.300 tours par minute; cette machine commande un arbre intermédiaire par une transmission à corde sans fin, système Raffard. Le mouvement de la poulie de l'arbre intermédiaire est transmis aux roues motrices d'arrière par l'intermédiaire de deux chaînes Gall. Les changements de vitesse et les démarrages s'obtiennent par des couplages différents de la batterie d'accumulateurs divisée, à cet effet, en quatre groupes. Au démarrage, les quatre groupes sont en quantité. La différence de potentiel utile est de 70 volts environ. Au cran suivant on a deux groupes en quantité, deux en tension, et 140 volts utiles. Le troisième cran met trois groupes en tension, et le quatrième groupe en dérivation sur l'un des trois autres. Au dernier cran, enfin, correspondant à la grande vitesse, les quatre groupes sont en tension et la différence de potentiel utile est de 250 volts. La voiture est éclairée à l'électricité au moyen de six lampes à incandescence de 10 bougies, montées sur un groupe de trente-six accumulateurs.

En résumé, en France on paraît avoir momentanément abandonné les essais de traction électrique, tandis qu'à l'étranger on étudie cette question avec une certaine ardeur.

Ainsi, d'après les publications américaines, il existait en 1888 aux États-Unis une douzaine au moins de compagnies s'occupant de créer des chemins de fer ou tramways électriques. Les systèmes se multiplient, tous brevetés, naturellement; mais il serait prématuré de se prononcer sur leur valeur, puisqu'ils n'ont pas encore fait leurs preuves.

Jusqu'à présent il paraît téméraire d'appliquer la transmission électrique de la force au service des chemins de fer aériens ou souterrains présentant un développement de plusieurs dizaines de kilomètres; aucun essai pratique n'a d'ailleurs été tenté sur des lignes à voie normale, la question a été simplement posée (V. LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE). Tout autre et beaucoup plus simple est le problème si l'on a seulement à exploiter une ligne de quelques centaines de mètres où la circulation est relativement peu active; de nombreux exemples prouvent que, dans ce cas, l'électricité peut être d'un emploi très avantageux.

En 1886, la longueur totale des lignes de tramways à traction électrique était de 64 kilomètres se répartissant comme suit : Suisse, 20 kilomètres; Amérique, 14 kilomètres; Angleterre, 11 kilomètres; Irlande, 10 kilomètres; Russie, 4 kilomètres; Autriche, 2 kilomètres; Hollande, 2 kilomètres; Saxe, 1 kilomètre.

TRADUCTEUR. — Appareil qui, dans le télégraphe imprimeur multiple de M. Baudot, s'empare dans le poste d'arrivée du signal que lui cèdent les relais, et le traduit en signe typographique sur une bande de papier. (V. TELEGRAPHIE, *Télégraphe Baudot*.)

TRAJET DES COURANTS. (*Électroth.*) — Il serait très important, en vue de l'action des courants électriques sur les organes, de connaître exactement le trajet qu'ils suivent à travers la masse du corps, pour une situation donnée des ÉLECTRODES. Les notions à cet égard sont purement négatives. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est que les courants ne suivent pas les courbes régulières tracées par les auteurs dans leurs figures schématisées. Cette régularité supposerait que l'organisme représente une masse parfaitement homogène, ce qui n'est pas. La question se ramène à celle de la résistance propre de chacun des constituants liquides ou solides du corps. Le courant se ramifie dans toute la masse, mais sa densité dans les différentes parties d'une section est inverse de la résis-

lance de la partie considérée. On voit d'après cela que, même en possédant la résistance normale des divers tissus et humeurs du corps humain, on ne pourrait encore avoir qu'une idée très vague de la distribution du courant dans un cas particulier. C'est là une des nombreuses raisons pour lesquelles l'ÉLECTROTHERAPIE ne peut être enfermée dans des règles précises.

TRANSFORMATEUR. — Appareil recevant de l'énergie électrique et pouvant la restituer sous la même forme en modifiant seulement le rapport des facteurs de VOLTS et d'AMPÈRES dont le produit constitue la PUISSANCE.

« Les transformateurs employés dans l'industrie, dit M. H. Fontaine dans son traité (*Éclairage à l'électricité*, 1883), ont surtout pour but de diminuer les frais de premier établissement des installations d'éclairage électrique présentant une grande longueur de fils conducteurs.

« Nous supposons, par exemple, qu'il s'agit d'éclairer un groupe de locaux avec 500 lampes exigeant 1 ampère chacune sous 100 volts, et que la DYNAMO doit être placée à 500 mètres du centre de ce groupe. Le parcours de 1.000 mètres que mesure le conducteur (aller et retour) entraînera, par exemple, une perte de 10 volts; la résistance du conducteur sera alors de 0,02 ohm; sa section, de 833 millimètres carrés; son poids, de 75 tonnes, et son prix, d'environ 200.000 francs. Si maintenant on amène la même puissance électrique au centre du groupe considéré avec un courant de 50 ampères sous 1.000 volts, et qu'on transforme ensuite ce courant primaire en un courant secondaire de 500 ampères sous 100 volts, le conducteur devra être beaucoup plus faible. En effet, si l'on admet la même perte de puissance que dans le premier cas, ce conducteur déterminera une chute de POTENTIEL de 100 volts; sa résistance sera de 2 ohms; sa section, de 8,33 millimètres carrés; son poids, de 750 kilogrammes, et son prix, de 2.500 francs seulement. Nous ne tenons pas compte de la perte occasionnée par le transformateur, et nous n'examinons pas si, dans la dernière hypothèse, le câble ne serait pas un peu faible pour donner passage à un courant de 50 ampères, notre exemple ayant pour unique objet de faire ressortir le bénéfice considérable qui peut résulter, en pratique, de l'emploi des transformateurs. »

Les transformateurs sont dits instantanés lorsque l'utilisation est immédiate (Exemples : Bobine de Ruhmkorff, générateurs Gaulard et Gibbs, etc.), et différés quand l'utilisation peut n'avoir lieu qu'après un temps théoriquement illimité, ce qui est le cas des ACCUMULATEURS.

Les transformateurs instantanés peuvent se diviser en deux grandes catégories : les transformateurs à courants alternatifs, les transformateurs à courant continu.

Les premiers reposent sur l'application des lois de Faraday sur l'INDUCTION.

Il résulte de ce qui vient d'être dit que les transformateurs offrent une solution de la DISTRIBUTION de l'électricité par une canalisation unique traversée par des courants de faible intensité et de haut POTENTIEL. Par leur emploi ce courant pourra être transformé en courant d'intensité plus grande et de plus faible potentiel convenant aux divers appareils à desservir.

Les transformateurs à courant continu ont pour but, comme les précédents, de transformer un courant de haut potentiel et de faible intensité en un courant de potentiel moindre, mais de plus forte intensité, et réciproquement. Ils peuvent être appliqués

avantageusement à transformer les courants de haute tension envoyés par une station centrale en courants de faible tension destinés à l'éclairage. Ils diffèrent des transformateurs à courants alternatifs en ce qu'ils exigent l'emploi de pièces mobiles, telles que contacts frottants, BALAIS, COLLECTEUR; mais, comme ils fournissent un *courant continu*, on peut les faire servir non seulement pour l'éclairage, mais aussi pour le TRANSPORT DE LA FORCE et pour l'ÉLECTROLYSE.

Le principe de ces transformateurs a été énoncé pour la première fois par Cabanellas, dans une note à l'Académie des Sciences, le 27 décembre 1880, (V. *MINET ÉLECTRIQUE ET DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ*.)

I. TRANSFORMATEURS A COURANTS ALTERNATIFS.

Les transformateurs à courants alternatifs se composent en principe de deux circuits distincts, isolés entre eux et enroulés simultanément sur un même noyau. Le *courant primaire*, celui qui est fourni par la source d'électricité dont on dispose, parcourt l'un des circuits, et, chaque fois qu'il change de sens, il induit un courant dans le deuxième fil.

Les qualités du courant induit dans le deuxième circuit dépendront, toutes choses égales d'ailleurs, de la longueur et de la section du fil de ce circuit par rapport à la longueur et à la section du fil du circuit primaire. Pour obtenir des courants induits d'intensité supérieure à celle des courants primaires, il faut que le fil de l'induit soit moins long et d'une section supérieure à celle du fil de la bobine primaire; mais, en pratique, on peut modifier l'intensité des courants induits dans un transformateur en groupant en série ou en quantité un plus ou moins grand nombre de spires des bobines de ce transformateur. La valeur de l'intensité et la différence de potentiel aux bornes de la bobine secondaire satisferont toujours à cette condition, que l'énergie qu'elles représentent sera égale à l'énergie des courants inducteurs multipliée par un certain coefficient qui est le *rendement* du transformateur.

Voici quelques renseignements sur les transformateurs à courants alternatifs actuellement les plus répandus.

Transformateurs Gaulard et Gibbs. — Nous empruntons au mémoire présenté par M. Ferraris à

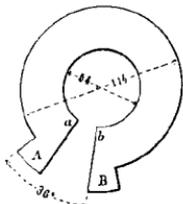


Fig. 1.

l'Académie des Sciences de Turin la description de ces appareils improprement appelés par les inventeurs **générateurs secondaires**.

« Les générateurs secondaires Gaulard et Gibbs sont constitués par deux hélices enroulées autour d'un même noyau en fer. Les hélices sont faites au moyen de disques minces en cuivre ayant la forme d'une couronne circulaire coupée en Aa et Bb (fig. 1) et

munie sur les bords de la coupe, vers l'intérieur, de deux languettes A, B qui servent aux soudures. La languette B d'un disque est soudée à la languette A d'un deuxième disque dont la languette B est soudée avec la languette A d'un troisième et ainsi de suite.

« De cette manière, on forme une hélice à ruban dont chaque disque représente une spire. Les deux hélices primaire et secondaire sont identiques, et les spires de l'une sont alternées avec celles de l'autre.

« L'isolement est obtenu au moyen de disques à couronne circulaire de carton mince enduits de

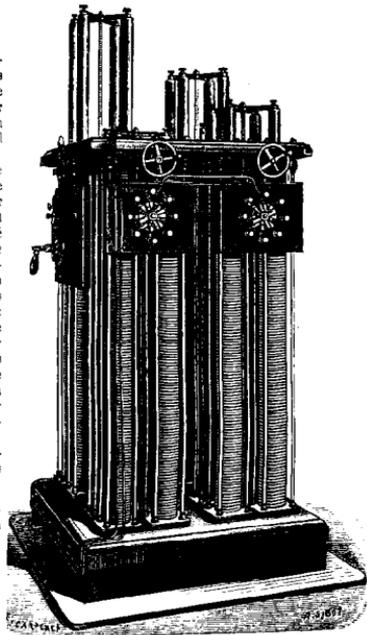


Fig. 2. — Transformateur Gaulard et Gibbs.

gomme laque. Les disques des deux hélices et ceux en carton destinés à les isoler sont montés sur un tube vertical en chanote ou autre matière isolante, dans l'intérieur duquel on introduit un noyau cylindrique de fil de fer (fig. 2). Quatre colonnes métalliques et deux plateaux en bois forment le châssis de l'appareil. Sur le plateau supérieur sont placées les bornes des deux hélices et un COMMUTATEUR au moyen duquel on peut, à volonté, introduire l'appareil dans le circuit primaire, ou l'inter et y substituer un court circuit. Le commutateur peut réunir en circuit simple ou en circuit multiple les parties dont est composée l'hélice secondaire. C'est un commutateur à fiches, placé sur une planchette en chanote qui se trouve à côté de l'appareil.

« Pour régler la puissance du générateur secondaire, on peut introduire plus ou moins, dans son intérieur, le noyau en fer. A cet effet, le plateau supérieur porte une vis latérale avec laquelle on peut fixer le noyau à toutes les hauteurs.

« Les générateurs exposés à Turin en 1885 étaient de deux types : un grand modèle destiné à absorber et à transformer une énergie équivalant à peu près à 1,80 cheval, et un petit modèle destiné à absorber et à transformer une énergie équivalant à 1 cheval environ. Les deux modèles différaient l'un de l'autre seulement par le nombre des disques et par le nombre des parties concourant à constituer l'hélice secondaire. Dans le grand modèle, l'hélice secondaire était formée de quatre parties égales que l'on pouvait réunir à volonté en tension ou en quantité; dans le petit modèle, l'hélice secondaire était composée de deux parties seulement. »

Les circuits primaires des transformateurs Gaulard et Gibbs se placent en tension aux bornes d'une machine dynamo à courants alternatifs. L'intensité du courant dans les circuits est maintenue à une valeur constante par l'introduction de résistances contenues dans un rhéostat manœuvré soit à la main, soit par le courant lui-même.

La détermination du rendement des transformateurs Gaulard et Gibbs a fait l'objet de plusieurs expériences, et les résultats obtenus ont provoqué des discussions assez vives.

Lors des essais faits à l'Exposition de Turin en 1885, M. Ferraris a trouvé un rendement atteignant 95 %, M. Hopkinson est arrivé à un rendement un peu inférieur, 89 %.

Transformateurs Ziperowsky et Déri. — La disposition de ces appareils rappelle celle d'un ANNEAU GRAMME dans lequel les bobines paires, par exemple,

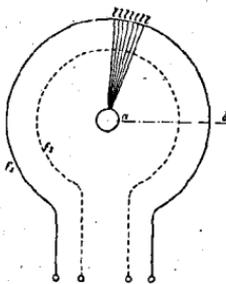


Fig. 3.

constituent les bobines primaires, et les bobines impaires constituent les bobines secondaires.

Le transformateur Ziperowsky est donc à circuit magnétique fermé, tandis que le transformateur Gaulard et Gibbs est à circuit magnétique ouvert. En maintenant dans ces appareils à une valeur constante la différence de potentiel aux bornes de la machine génératrice, on assure la constance de la différence de potentiel aux bornes de chaque bobine secondaire, ce qui permet de faire varier le nombre des appareils alimentés par un transformateur sans toucher au transformateur lui-même.

Le schéma (Fig. 3) permet de se rendre compte du

mode de construction d'un transformateur Ziperowsky et Déri. L'appareil se compose de deux fils conducteurs en cuivre parfaitement isolés f_1 et f_2 , l'un inducteur, l'autre induit, enroulés parallèlement. Le premier reçoit le courant d'une machine à courants alternatifs, le deuxième conduit le courant induit aux appareils qui doivent l'utiliser. Ces deux fils sont recouverts d'une armature de fil de fer III enroulée perpendiculairement à leur direction.

La fig. 4, qui donne la coupe du transformateur suivant ab , montre que lorsque le courant y pénètre les LIGNES DE FORCE, qui sont représentées par des cercles en pointillé, vont se confondre avec l'armature de fil de fer dont le but est de concentrer toutes ces lignes et de n'en laisser échapper aucune dans l'espace.

Les fig. 5 à 10 donnent les vues de différents modèles de transformateurs Ziperowsky et Déri.

Les inventeurs font valoir les avantages suivants pour l'emploi de ces appareils dans les installations d'éclairage électrique : diminution du prix des conducteurs ; possibilité de faire de la lumière à anc ou

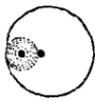


Fig. 4. Coupe suivant ab .

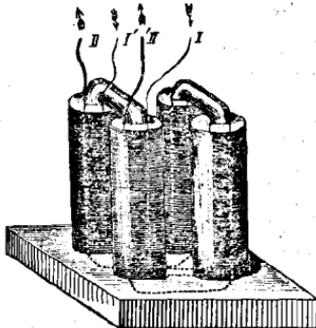


Fig. 5.

Fig. 5. — Transformateur Ziperowsky et Déri; 1re disposition. (Vue extérieure.)

I, T. Circuit primaire. II, II'. Circuit secondaire.

à INCANDESCENCE au moyen du même générateur; facilité d'éteindre un nombre quelconque de lampes dans le circuit sans troubler la marche des autres; enfin consommation d'énergie de la source, proportionnelle au nombre des lampes en activité.

M. Dumont, ingénieur des télégraphes de l'Etat belge, qui a publié une étude intéressante sur les transformateurs Ziperowsky dans la *Revue universelle des mines*, en 1886, dit que, malgré les plus grands soins apportés dans la construction de ces appareils, il se produit toujours une légère aimantation dans l'armature de fil de fer. D'après M. Ziperowsky, le rendement électrique de ses transformations varie de 96,1 à 98,1 %.

Tandis que les transformateurs Gaulard et Gibbs se montent en tension dans le circuit de la machine dynamo produisant le courant primaire, ceux de MM. Ziperowsky et Déri se montent en dérivation soit aux bornes mêmes de la machine, soit entre deux

points du circuit principal. Il faut donc, pour assurer l'indépendance de ces appareils, que la différence de potentiel aux bornes de la dynamo soit maintenue

constante. Cette condition peut être réalisée à la main par l'introduction de résistances dans le circuit d'excitation de la machine, soit automatiquement à l'aide

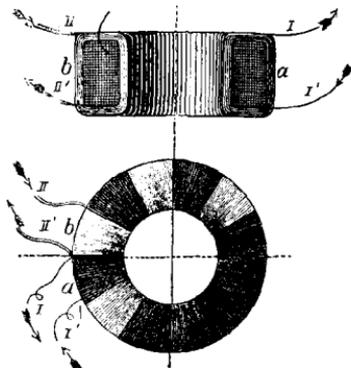


Fig. 6 et 7. — Transformateur Zipernowsky, 1re disposition. (Coupes horizontale et verticale.)
I, I'. Circuit primaire. — II, II'. Circuit secondaire.



Fig. 8. — Transformateur Zipernowsky, 2e disposition. (Vue extérieure.)
A, B. Bornes d'attache du circuit primaire. — C, D. Bornes d'attache du circuit secondaire.

d'un transformateur dit de *compounding*, ainsi que nous le verrons plus loin.

Le rendement des transformateurs Zipernowsky serait, d'après ce qui a été dit plus haut, un peu supérieur à celui des transformateurs Gaulard et Gibbs.

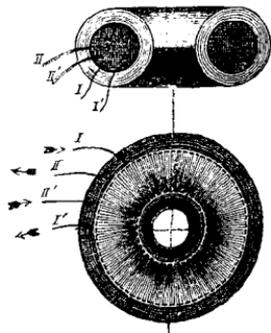


Fig. 9 et 10. — Transformateur Zipernowsky, 2e disposition. (Coupes horizontale et verticale.)
I, I'. Circuit primaire. — II, II'. Circuit secondaire.

A notre connaissance il n'a pas été fait sur ces appareils d'expériences comparatives assez complètes pour permettre de se prononcer sur leur valeur respective, et les chiffres que nous avons donnés ne doivent être admis que sous réserve d'essais ultérieurs.

Transformateurs Dick et Kennedy. — M. Kennedy a construit un transformateur à anneau de Pacati nettement entouré de fil de fer. La fig. 11 représente une

coupe horizontale de ce transformateur dont le noyau est formé d'un fer à double T, genre Siemens, autour

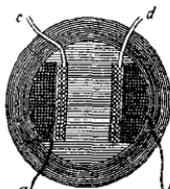


Fig. 11. Coupe horizontale.

de l'âme duquel on enroule d'abord le fil induit *cd*, puis le fil inducteur *ab*. On obtient ainsi un cylindre

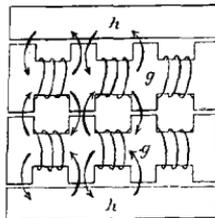


Fig. 12.

dont on complète le circuit magnétique par une forte couche de fil de fer.

La fig. 12 représente la section horizontale d'un

transformateur Dick et Kennedy montrant la forme des tôles de fer *g*, *g* formant noyaux et la manière dont les bobines sont enroulées dans les couches. Les flèches indiquent le chemin des lignes de force.

Transformateurs Ferranti.—M. Ferranti a construit un transformateur composé de lames de tôle minces enfilées dans la bobine formée par les circuits primaire et secondaire et recourbées par-dessus et par-dessous la bobine; les bouts des lames se chevauchent et forment un excellent circuit magnétique.

Transformateurs de la Compagnie Westinghouse.
—Aux Etats-Unis, la Compagnie Westinghouse, concessionnaire des brevets Gaulard et Gibbs, a combiné tout un système de distribution par courants alternatifs. Ses appareils sont disposés de façon à être placés sur des poteaux de manière que le circuit primaire à grande tension ne soit pas facilement accessible au public. Le noyau du transformateur est formé de tôles minces rectangulaires, percées de deux ouvertures carrées à travers lesquelles sont enroulés les deux circuits primaire et secondaire.

Exemples d'application des transformateurs à courants alternatifs.

La première application des transformateurs Gaulard et Gibbs a été faite sur le chemin de fer métropolitain à Londres. On avait installé dans les ateliers de la compagnie, à Edgware Road Station, une machine dynamo Siemens à courants alternatifs, mue par une machine à vapeur de 30 che-

vaux de force. L'énergie électrique ainsi produite était distribuée par un câble de 4 millimètres de diamètre et d'une longueur de 25 kilomètres aux

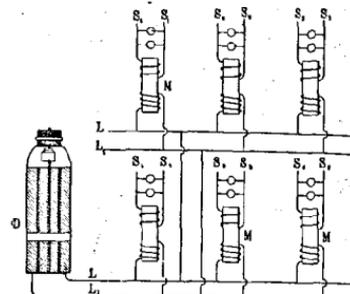


Fig. 13. — Disposition schématique d'une Distribution d'électricité avec transformateurs Gaulard et Gibbs.

stations de Notting Hillgate, Gower Street, King's-Cross et Aldgate. Dans chacune de ces stations on avait placé un transformateur donnant le courant nécessaire pour actionner des lampes à incandescence Swan de 100 volts placées en dérivation, et des

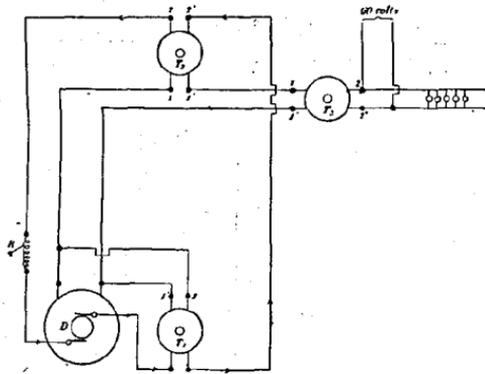


Fig. 14.

lamps à arc système Jablochhoff utilisant un courant de 7,5 ampères et de 50 volts. En outre, à la station de Notting Hillgate, deux colonnes du transformateur fournissent le courant à un mouleur. Il y avait au total cent quarante et une lampes à incandescence, d'une puissance lumineuse individuelle de 23 bougies, et six lampes à arc.

En novembre 1883 on a inauguré la station centrale de distribution d'électricité de Grosvenor Gallery, à Londres, qui fournit l'énergie électrique à plus de cinquante établissements publics et privés situés dans le quartier de New Bond Street et de Regent Street, qui l'utilisent pour l'éclairage par lampes à arc et à incandescence de tous systèmes. Les machines dynamo-

électriques sont installées en sous-sol et actionnées par des machines à vapeur marchant à la vitesse de 55 tours par minute. Le courant fourni par ces dynamos, système Siemens, est d'une force électromotrice de 2.500 volts, tandis que le courant fourni par les transformateurs n'est que de 100 volts. Les transformateurs sont placés dans les caves des maisons.

La fig. 13 représente le schéma de l'installation: D est la machine dynamo excitée par une machine à courant continu. Le courant de la machine D est envoyé dans le circuit primaire, composé de conducteurs L et L₁, sur lesquels sont prises les dérivations aboutissant aux transformateurs Gaulard et Gibbs. Les branchements sur lesquels sont dispo-

sées en dérivation les lampes $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}$,... dans l'intérieur des maisons, sont reliés au circuit secondaire M des transformateurs.

On pourrait citer encore beaucoup d'autres exemples d'application des transformateurs Gaulard et Gibbs pour l'éclairage électrique, notamment à Turin, à Tivoli, etc.

Nous avons dit plus haut que, imitant ce qui se fait aujourd'hui pour les machines à courant continu, M. Ziperovsky rend compoⁿ les machines à courants alternatifs en intercalant en dérivation entre les deux bornes et les deux balais de la dynamo un transformateur dont le but est de produire un champ magnétique constant.

La fig. 15 donne une disposition de ce genre: D représente une machine dynamo-électrique à courants alternatifs donnant 900 volts et 18 ampères, T, un transformateur de compoⁿ; T, un transforma-

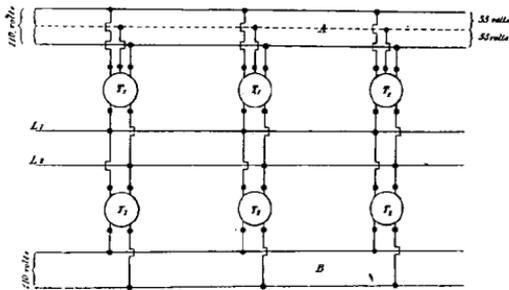


Fig. 15. — Disposition schématique d'une Distribution d'électricité avec transformateurs Ziperovsky.

reils; en effet le flux de force dans le fer peut être renversé un bien plus grand nombre de fois par seconde que dans une dynamo. Ainsi, un transformateur travaillant avec 600 inversions par seconde peut être comparé à une dynamo-bipolaire faisant 300 tours pendant le même temps, soit 18.000 tours par minute. Le rendement est donc forcément excellent, puisque le circuit magnétique d'un transformateur est complètement fermé, qu'aucun entrefer n'en interrompt la continuité, de sorte que l'excitation nécessaire pour produire les aimantations successives est très faible.

II. TRANSFORMATEURS A COURANT CONTINU.

Le transformateur à courant continu le plus simple, du moins comme conception, se composerait de deux dynamos dont on couplerait les axes; la première machine étant parcourue par un courant dit *courant primaire* entraînerait dans sa rotation la deuxième machine, qui produirait le courant dit *courant secondaire*. Le rendement d'un tel ensemble peut s'élever au delà de 80 %. On peut modifier cette disposition en enroulant sur le même noyau deux circuits, l'un servant de circuit primaire et faisant tourner l'induit, et l'autre remplissant le rôle de circuit secondaire et engendrant, en tournant, le courant secondaire. Chaque circuit a, bien entendu, ses balais et son commutateur.

Comme les deux courants circulent en sens contraire, les actions magnétiques sont également de sens contraire, et comme, enfin, le nombre d'ampères-

leur de réglage; R une résistance variable; T, un transformateur de distribution du courant aux lampes placées en dérivation pour l'incandescence, en tension pour l'arc.

La fig. 15 donne le schéma d'une distribution d'électricité dans une ville lorsqu'on emploie les transformateurs Ziperovsky.

L_1 et L_2 sont les deux conducteurs principaux venant de la STATION CENTRALE où l'on produit l'électricité. T, et T, sont les transformateurs donnant dans les réseaux A et B une différence de potentiel de 110 volts utilisée pour les lampes à incandescence. Ordinairement les transformateurs, tels que T, sont munis de trois fils, de façon à obtenir à volonté 110 ou 55 volts; cette dernière différence de potentiel est utilisée pour les foyers à arc.

Le rendement très élevé des transformateurs tient à l'excellente utilisation des matériaux dans ces appa-

tours (c'est-à-dire le produit du nombre de tours de fil par le nombre d'ampères du courant qui le parcourt) est à peu près le même dans chaque circuit, les actions magnétiques se contre-balancent, la réaction de l'induit disparaît presque entièrement, et il n'y a pas de torsion du champ magnétique.

Plusieurs inventeurs ont fait breveter des transformateurs à courant continu du genre de ceux dont nous venons d'indiquer le principe. Voici la description de quelques-uns de ces systèmes.

Transformateur Gramme. — M. Gramme présente à l'Académie des Sciences, le 23 novembre 1874, un transformateur composé d'un anneau dédoublé avec une série de bobines à gros fil et une série de bobines à fil fin, tournant devant les pôles d'un aimant ou d'un électro-aimant. Quand un courant de tension ou de quantité passait dans un des fils, l'appareil tournait et produisait dans l'autre fil des courants de quantité ou de tension, c'est-à-dire qu'il modifiait considérablement la valeur relative des deux facteurs de la puissance électrique: Intensité et force électromotrice.

Transformateur ou robinet électrique Cabanellas. — En 1880, Cabanellas présente son transformateur, qu'il appela *ROBINET ÉLECTRIQUE* et qui se composait de deux anneaux Gramme concentriques et immobiles, enroulés de fils de différents diamètres. Les balais du collecteur de l'anneau intérieur étant reliés à la distribution générale, et les balais du collecteur de l'anneau extérieur étant reliés au circuit extérieur, si l'on fait tourner les deux paires de balais de chaque

anneau à la même vitesse, les pôles se déplaceront sur l'anneau intérieur qui reçoit le courant de la distribution, et de ce déplacement résulteront dans l'anneau extérieur des courants induits alternatifs. Ces courants, convenablement recueillis par les balais du collecteur de l'anneau extérieur, donneront dans le circuit d'utilisation un courant continu. La partie du courant transformée en travail se réduira à la dépense nécessaire pour faire tourner les balais collecteurs,

qui, cela va sans dire, seront actionnés par une dérivation prise sur le courant primaire.

Transformateur Edison. — Le transformateur d'Edison, désigné par lui sous le nom de Moteur générateur, fonctionne dans une usine centrale en Amérique. La fig. 16 représente la vue en plan du système de distribution. Les dynamos à haute tension sont placées en D, D, D, D; elles actionnent des

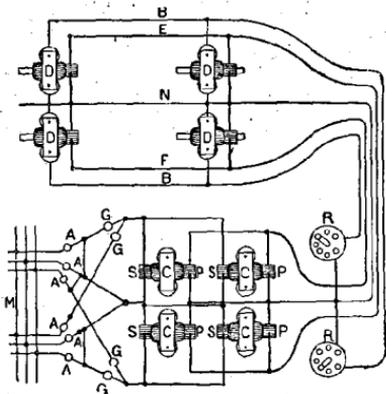


Fig. 16.

Vue en plan d'un système de distribution de l'électricité au moyen du transformateur ou moteur-générateur Edison.

moteurs-générateurs C, C, G, C. Les rhéostats R, R, reliés aux dynamos par le fil B, permettent de régler le champ magnétique des dynamos de la station secondaire, même où sont installés les moteurs-générateurs. - Les fils de distribution du courant sont représentés en M.

Transformateur Paris et Scott. — Cet appareil, qui a été exposé à Newcastle, se compose d'un anneau muni de deux enroulements primaire et secondaire. Les électro-aimants sont excités en dérivation aux bornes du circuit secondaire. En raison de cette disposition, le champ magnétique n'est excité que lorsque l'appareil tourne; aussi, pour faciliter le démarrage, les inventeurs ont-ils proposé d'ajouter sur les électro-aimants quelques tours du conducteur primaire. Le rendement commercial a été trouvé égal à 86 %.

Transformateur Jehl et Rupp. — Si on considère un ANNEAU GRAMME enroulé par deux circuits primaire et secondaire, ayant chacun leurs balais, et si on fait tourner en même temps les balais autour de leurs collecteurs, le courant primaire alimente l'anneau; il se forme ainsi deux pôles correspondant aux points de contact des balais, et ces deux pôles en mouvement induisent une force électromotrice dans le circuit secondaire. On peut donc recueillir un courant secondaire par la deuxième paire de balais. La puissance d'un transformateur ainsi construit est directement proportionnelle à la vitesse de rotation des balais. Mais, comme dans un pareil système on perd trop d'énergie en excitation, on peut ou enrouler par-dessus l'anneau du fil de fer isolé de façon que le circuit magnétique se complète à travers celui-ci

(fig. 17), ou remplir l'intérieur de l'anneau de disques en tôle de fer minces et isolés afin d'empêcher les courants de Foucault. MM. Jehl et Rupp ont combiné ces deux procédés: ils enroulent le circuit primaire sur un anneau, le circuit secondaire sur un tambour Siemens, et introduisent ce tambour dans l'intérieur de l'anneau en s'arrangeant de façon que le vide de ce dernier soit entièrement rempli.

Dans un autre dispositif, les mêmes inventeurs

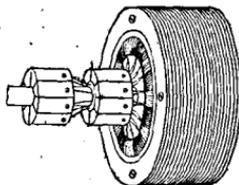


Fig. 17.

placent dans l'intérieur d'un anneau immobile un électro-aimant qui tourne en entraînant des balais frottant sur un collecteur immobile. Le courant est introduit dans les balais mobiles à l'aide de deux autres contacts frottants.

Nouveau type de transformateur Edison. — Une autre disposition plus récente du transformateur Edison consiste à enrouler les bobines primaires et secondaires par paires sur des anneaux en fer

(fig. 18). Dans chaque circuit, la fin d'une bobine et le commencement de l'autre sont joints à une lame de leurs collecteurs respectifs.

La fig. 19 représente les balais et les collecteurs d'un pareil transformateur. Les balais, désignés sur la fig. 18 par les lettres B et b munies d'exposants

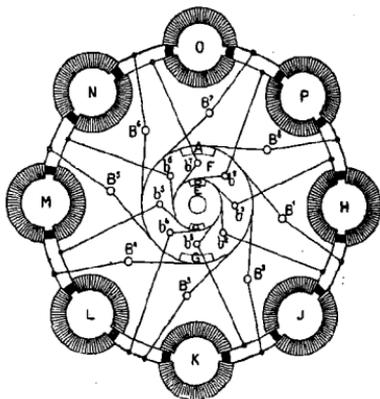


Fig. 18 — Disposition schématique de nouveau Transformateur Edison.

Indiquant les bobines auxquelles ils correspondent, | recueillis par des segments conducteurs A et G. Quand
font office de lames de collecteur. Les courants sont | les balais des segments tournent, le courant primaire

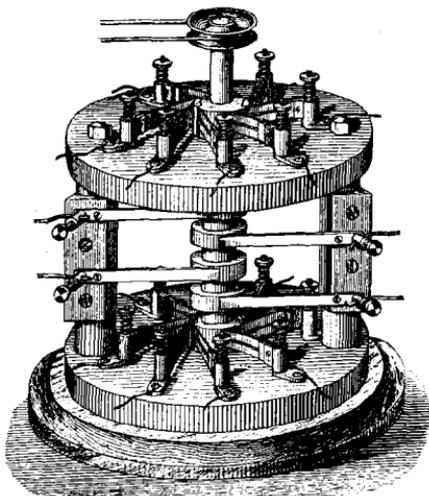


Fig. 19. — Vue perspective des Balais et des Collecteurs du nouveau transformateur Edison.

est renversé deux fois par tour dans chaque bobine, le courant induit qui en résulte est recueilli par les balais secondaires. Quand les segments A, G et D, C | tournent, les courants leur sont amenés par des contacts frottants qui consistent en quatre anneaux métalliques fixés sur le même axe de rotation que ces

segments. Des balais frottent sur ces anneaux, ainsi que le montre la fig. 19.

TRAMWAY ÉLECTRIQUE. — Tramway mû par une machine électrique. (V. TRACTION ÉLECTRIQUE.)

TRANSFORMATION de la chaleur en électricité. — Plusieurs savants se sont proposé de transformer directement l'énergie calorifique en énergie électrique, afin d'éviter les pertes qui résultent nécessairement de l'emploi d'appareils intermédiaires tels que machines à vapeur, dynamos, etc. Les piles thermo-électriques ont été imaginées dans ce but; plus récemment (1887), M. Edison a construit une machine destinée à transformer directement l'énergie rendue disponible par une chute de température en force électromotrice pouvant déterminer la production d'un courant utilisable industriellement (V. THERMO-MAGNÉTISME). — Enfin M. Willard Case, d'Auburn (Amérique), a imaginé un appareil dont le principe est assez intéressant: il met dans un vase hermétiquement fermé deux électrodes en charbon placées horizontalement, la plaque inférieure est recouverte d'étain métallique en poudre, et le vase est rempli d'une dissolution de chlorure de chrome. Quand on chauffe l'appareil, il se produit un courant, que l'on recueille à l'aide de deux bornes reliées avec les deux plaques de charbon. M. Case explique comme suit le fonctionnement de son appareil: l'élevation de la température décompose le chlorure de chrome en présence de l'étain métallique; il se forme du protochlorure de chrome, et le chlore naissant rendu libre se combine à l'étain métallique pour former du protochlorure d'étain. Il y a production continue de courant jusqu'à ce que tout l'étain soit transformé en protochlorure. Quand le liquide se refroidit, le protochlorure d'étain et le protochlorure de chrome réagissent l'un sur l'autre; le premier est décomposé et il se forme de nouveau du chlorure de chrome avec dépôt d'étain métallique sur le charbon inférieur. D'après cette description, empruntée à la *Lumière électrique*, t. XXI, n° 32, 1886, l'appareil de M. Case serait une pile n'agissant que sous l'action de la chaleur et régénérée par le refroidissement.

TRANSLATEUR ou Répétiteur phonique. — Système de bobines d'induction employé par M. Van Rysselberghe pour la correspondance télégraphique et téléphonique simultanées. (V. TÉLÉPHONE A LONGUE DISTANCE.)

TRANSLATEUR. — Appareil à deux directions, composé, pour chacune d'elles, d'un relais comportant une armature qui fait office de manipulateur, et d'un système magnétique agissant comme récepteur et actionnant l'armature chargée d'envoyer le courant sur la ligne.

TRANSLATION. — Quand la distance entre deux postes télégraphiques est trop considérable pour que l'on puisse transmettre directement, on installe en un ou plusieurs points intermédiaires des appareils dits de *translation* qui reçoivent le courant envoyé par l'un des postes et mettent la ligne aboutissant à l'autre poste en relation avec une *PILE LOCALE*.

Les appareils de translation sont donc à proprement parler de véritables *RELAIS*. On peut réaliser la translation avec tous les appareils de transmission comportant un *ELECTRO-AIMANT* et une *ARMATURE MOBILE*; il suffit de les accoupler deux à deux après avoir eu soin d'isoler les buttoirs entre lesquels se meut l'armature et d'établir convenablement les communi-

cations. Mais sur les lignes importantes on préfère établir des appareils spéciaux composés simplement de deux électro-aimants avec leurs armatures et les communications nécessaires.

Parmi les appareils de ce genre, il convient de signaler ceux de MM. Froment, Boivin, Moulleron et Bourbon, Héquet, Dutertre, etc.

D'Arlicourt a construit, en collaboration avec M. Cazésus, un appareil de translation comprenant deux relais d'Arlicourt et accessoirement deux autres relais réglés de manière à opérer la décharge de la ligne par l'effet du coup de fouet. Cet appareil fonctionne avec succès entre Paris et Vienne.

En Angleterre, le Post-Office emploie un appareil de translation combiné de façon à pouvoir servir lorsque la transmission exige des courants de sens différents, ainsi que cela a lieu pour le récepteur à transmission rapide de Wheatstone. Les appareils de translation ordinaires ne pourraient, en effet, servir dans ce cas, parce que, avec ces appareils, le courant reçu par les postes extrêmes a toujours la même direction. L'appareil de translation du Post-Office est intercalé sur les lignes anglaises aussitôt que le rendement de l'appareil Wheatstone diminue; il fonctionne avec une précision remarquable.

Signalons enfin l'appareil de M. Jaité, qui a pour but d'assurer la translation avec un nombre quelconque de relais intermédiaires tout en conservant aux différents courants émis et reçus une durée constante.

TRANSMISSION de l'heure par l'électricité. (V. REMISE A L'HEURE.)

TRANSMISSION ÉLECTRIQUE de la force. — A proprement parler il n'y a pas de différence entre le transport et la transmission de la force par l'électricité, si ce n'est que le mot *transport* implique une distance considérable entre le point de production et le point d'application de la force. Dans une note présentée à l'Académie des Sciences, le 19 octobre 1866, M. H. Fontaine dit que depuis l'année 1873, époque à laquelle eurent lieu les premières expériences de transmission de force au moyen de l'électricité, la Société Gramme a réalisé un grand nombre d'applications industrielles dans les usines, les arsenaux et les mines.

Généralement chacune de ces installations est constituée au moyen d'une seule machine Gramme placée près du moteur initial et servant à produire le courant électrique au départ; d'une deuxième machine Gramme recueillant le courant et le transformant en travail mécanique, à l'arrivée; enfin d'un double conducteur en fil de cuivre reliant les deux dynamos. Le maximum de la force utile ainsi transmise a été de 20 chevaux, la plus grande résistance de la ligne parcourue a été de 8 *OMÈS*. La Société Gramme a également établi plusieurs distributions électriques, notamment à l'Hôtel de ville de Paris, aux magasins généraux de Paris et de Roubaix, où une seule machine Gramme génératrice envoie le courant dans plusieurs réceptrices d'inégales vitesses et de puissances variables, indépendantes les unes des autres.

Dans toutes ces applications, le poids total des machines génératrices et réceptrices correspond à environ 200 kilogrammes par cheval transporté, et le prix du matériel est approximativement de 3 francs le kilogramme. (Pour certaines applications tout à fait exceptionnelles, M. Gramme est parvenu à faire des machines ne pesant par paire que 50 kilogrammes par cheval transporté, mais ces appareils sont d'un prix beaucoup trop élevé pour être employés industriellement.)

En 1886, M. Gramme est arrivé à établir avec des machines dites *type supérieur* (V. MACHINE) une transmission de force de 50 chevaux à travers une résistance de 109 ohms, avec un rendement industriel de plus de 50 %. Le poids du métal, soie compris, est de 167 kilogrammes par cheval transporté, et le prix des appareils n'atteint pas 2 francs le kilogramme (V. TRANSPORT DE LA FORCE). Ce résultat a une très grande importance au point de vue industriel.

Calcul d'établissement, de rendement et de prix d'une transmission électrique. — (Extrait d'une note publiée en 1883, par M. H. Fontaine, sur les *Transmissions électriques*.)

Les seules formules nécessaires sont :

$$1^{\circ} \text{ La formule : } T = \frac{IE}{g}, \quad (1)$$

qui donne le TRAVAIL T, en kilogrammètres, d'un courant dont on connaît la FORCE ÉLECTROMOTRICE E exprimée en volts et l'INTENSITÉ I exprimée en ampères.

$$2^{\circ} \text{ La formule : } T' = \frac{IR}{g}, \quad (2)$$

qui donne le travail mécanique T', exprimé en kilogrammètres, absorbé par un conducteur métallique traversé par un courant d'une intensité I (I étant exprimé en ampères) et opposant au passage du courant une résistance R exprimée en ohms.

On sait en effet (Loi de Joule) que toutes les fois qu'un conducteur est traversé par un courant ce conducteur s'échauffe, et que cette production de chaleur entraîne une perte de travail.

Prenons comme exemple le transport du travail d'une turbine de 40 chevaux de force à 3,000 mètres, à l'aide d'une machine Gramme *génératrice* conduite directement par l'arbre de la turbine et d'une machine Gramme *réceptrice* chargée de transformer en travail mécanique le courant produit par la première machine.

1^o Machine génératrice. — Il y a intérêt à faire tourner la génératrice aussi vite que possible, parce que le travail qu'elle absorbe ou qu'elle transmet est sensiblement proportionnel à la vitesse de rotation ; mais en pratique il ne faut pas, bien entendu, dépasser l'allure au delà de laquelle on ne peut éviter la détérioration de la machine.

Cette vitesse maximum est de 1.000 tours par minute, pour rendre possible la connexion directe de la turbine et de la machine génératrice.

La force électromotrice du courant engendré par la génératrice doit également être circonscrite dans des limites restreintes.

M. H. Fontaine considère que 1.500 volts sont admissibles en service courant.

(On a donc : E = 1,500 et

$$T = 40 \text{ chev.} \times 75 \text{ kgm.} = 3.000 \text{ kgm.}$$

La formule (1) donne :

$$I = \frac{gT}{E} = \frac{9,81 \times 3000}{1,500}$$

$$I = 19,62, \text{ soit } 20 \text{ ampères.}$$

La résistance intérieure d'une machine Gramme pouvant produire un courant de 1.500 volts est de 19 ohms, donc R = 10.

La formule (2) permet de calculer le travail absorbé par l'échauffement des fils de l'inducteur et de l'induit.

On a, en effet,

$$T' = \frac{IR}{g} = \frac{20^2 \times 10}{9,81} = 400 \text{ kgm. par seconde.}$$

L'expérience indique que les pertes de travail dues aux frottements mécaniques et aux autres causes représentent dans une bonne machine les 10 % du travail électrique absorbé ou rendu, soit, dans le cas actuel, 3.000 \times 0,10 = 300 kilogrammètres.

Le total des pertes est donc : de 300 + 400 = 700 kilogrammètres.

Il reste un travail de 3.000 - 700 = 2.300 kilogrammètres transformable en électricité.

La force électromotrice du courant fourni par la génératrice quand on fait absorber à cette génératrice un travail de 2.300 kilogrammètres est facile à déterminer en appliquant de nouveau la formule (1) dans laquelle T = 2.300 et I = 20. On a :

$$E = \frac{Tg}{I} = \frac{2300 \times 9,81}{20} = 1.128 \text{ volts.}$$

Réceptrice. — M. Fontaine conseille de prendre comme réceptrice une machine identique à la génératrice, et cela dans le but d'éviter l'excès de vitesse quand elle tourne sans charge.

La réceptrice aura donc une résistance intérieure r de 10 ohms.

Les pertes de travail dues aux deux causes signalées plus haut seront :

1^o Pour l'échauffement des fils de l'inducteur et de l'induit 400 kilogrammètres (puisque la réceptrice est identique à la génératrice) ;

2^o Pour les frottements, etc., 200 kilogrammètres seulement (attendu que, la réceptrice tournant moins vite que la génératrice, on peut admettre que ces pertes de travail seront les 2/3 seulement de celles de la génératrice, soit 2/3 \times 300 kilogrammètres ou 200 kilogrammètres).

La perte totale de travail sera ainsi de :

$$400 + 200 = 600 \text{ kgm.}$$

Rendement mécanique. — Si les deux machines étaient placées côte à côte, c'est-à-dire si elles étaient réunies par un conducteur *sans résistance*, le rendement serait de :

$$\frac{2300 - 600}{3000} = \frac{\text{travail dépensé}}{\text{travail fourni}} = 57 \%,$$

mais en pratique il est bien moins élevé, puisqu'il faut faire entrer en ligne de compte la résistance du conducteur qui relie les deux machines.

Calcul du conducteur. — On peut se proposer soit de calculer le diamètre du conducteur étant donné le travail qui doit être disponible sur l'arbre de la réceptrice, soit de calculer quel sera ce travail disponible si l'on se donne à priori le diamètre du conducteur.

Dans la première hypothèse, supposons qu'on veuille recueillir 20 chevaux, soit 20 \times 75 = 1.500 kilogrammètres sur l'arbre de la réceptrice.

La turbine fournit 3.000 kilogrammètres, mais on a vu que les pertes des deux machines représentent 700 + 600 ou 1.300 kilogrammètres.

La perte de travail due à la résistance de la ligne ne doit donc pas dépasser :

$$3.000 - (1.300 + 1.500) = 200 \text{ kgrm.}$$

La distance est de 3.000 mètres, le fil aura donc (aller et retour) une longueur de 6.000 mètres. Sa résistance sera donnée par la formule (2).

$$r = \frac{T'g}{l^2} = \frac{200 \text{ kgrm.} \times 9.81}{20^2}$$

(En effet, l est le même dans tout le circuit), donc :

$$r = 4,9 \text{ ohms.}$$

Or, un fil de cuivre de 60 mètres de longueur et de 1 millimètre carré de section présente une résistance de 1 ohm. Ce même fil, s'il a 6.000 mètres de long, offrira une résistance de 100 ohms et on déterminera, dès lors, la section S du conducteur en posant la proportion :

$$\frac{1 \text{ mm}}{S} = \frac{4,9}{100} \text{ ou environ } \frac{5}{100}$$

d'où :

$$S = \frac{100}{5} = 20 \text{ millimètres carrés,}$$

et le diamètre d sera donné par la formule :

$$\frac{sd^2}{4} = 20 \text{ mill. carrés et } d = \sqrt{\frac{80}{s}} = 5 \text{ mm environ.}$$

Le rendement, c'est-à-dire le rapport du travail disponible au travail total fourni à la génératrice, sera :

$$\frac{3000 - (1300 + 200)}{3000} = \frac{1500}{3000} = \frac{1}{2} \text{ soit } 50 \text{ \%.}$$

Dans la deuxième hypothèse, c'est-à-dire dans le cas où l'on désire diminuer dans la plus large mesure

possible la section du conducteur afin de réduire les dépenses d'installation de la ligne, on diminue forcément le travail disponible et le rendement.

Ainsi, prenons par exemple un conducteur de 8 millimètres carrés de section. La résistance de la ligne sera de 42,25 ohms et le travail absorbé pour vaincre cette résistance sera de 500 kilogrammètres.

Le travail disponible sur l'arbre de la réceptrice sera ainsi de :

$$3000 - (1300 + 500) = 1.200 \text{ kilogrammètres} \\ = 16 \text{ chevaux,}$$

et le rendement de :

$$\frac{1200}{3000} = 37,3, \text{ soit } 37 \text{ \%.}$$

Prix de la transmission dans les deux cas considérés. — Le prix d'une machine dynamo-électrique pouvant fournir le travail indiqué plus haut est de 6.000 francs.

Le coût des deux machines sera donc de 12.000 francs. La ligne coûtera, dans la première hypothèse, 1 fr. 80 par mètre, soit, pour 6.000 mètres : 10.800 francs.

La pose des appareils peut être évaluée aux 15 % du prix d'achat du matériel.

Le coût total sera donc :

$$(12000 + 10800) + 15 \times \frac{(12000 + 10800)}{100} = 26.200 \text{ fr.}$$

Dans la seconde hypothèse, la ligne coûtera 0 fr. 70 le mètre, soit, pour 6.000 mètres : 4.200 francs, et le coût total sera de :

$$(12000 + 4200) + 15 \times \frac{(12000 + 4200)}{100} = 18.630 \text{ fr.}$$

M. II. Fontaine a dressé le tableau des prix d'installation et des rendements dans diverses hypothèses. Ce tableau est instructif, nous le reproduisons ci-après.

FORCES transportées en chevaux.	PRIX des deux dynamos.	PRIX du conducteur.	PRIX TOTAL d'installation.	RENDEMENT PRACTIQUE %.
15	12.000	4.200	18.630	37,3
19	12.000	8.100	23.115	47,5
20	12.000	10.800	26.220	50
21	12.000	18.000	31.500	52,5
22	12.000	45.000	65.500	55

On voit que le rendement croît beaucoup moins rapidement que la dépense, puisque pour augmenter ce rendement de 50 % il faut augmenter la dépense dans le rapport de 1 à 3,5.

Le conducteur joue un rôle considérable dès que la distance devient un peu grande.

Ainsi que le fait remarquer avec raison M. II. Fontaine, il est facile de prouver par le calcul que rien n'est plus aisé que de transporter économiquement une grande force à une grande distance, si l'on admet qu'il soit possible de construire des machines dynamo-électriques à tension très élevée.

On lira donc avec intérêt le calcul donné par cet ingénieur, calcul d'où il ressort clairement que, étant donnée une machine de 50 ohms de résistance intérieure et pouvant produire un courant de 10.000 volts,

il serait possible de transporter à 20 kilomètres 20 chevaux effectifs en dépensant moins de 30.000 francs. Malheureusement, ajoute M. Fontaine, les machines de 40.000 volts n'existent pas, et il est impossible d'en construire offrant la moindre sécurité. Comme le dit très justement M. Deprez, le rendement d'une transmission électrique restera constant tant que les forces électromotrices varieront proportionnellement à la racine carrée de la résistance du circuit; il est donc toujours possible de calculer deux machines et un conducteur donnant un rendement fixé d'avance et aussi rapproché qu'on le voudra de 100 %. Mais la difficulté est de réaliser pratiquement les données de la théorie.

Formule de M. Sprague. — Voici une formule empirique indiquée par M. Sprague et qui permet

de déterminer un des éléments d'une transmission électrique d'usine ou d'atelier en fonction des autres éléments.

$$S = 0,026 \frac{nI}{KE}$$

Dans cette formule on désigne par :
E la différence de potentiel aux bornes du moteur ;
e la chute de potentiel produite par la ligne ;
l la distance en mètres entre la génératrice et la réceptrice ;
S la section de la ligne en millimètres carrés ;
n la puissance en chevaux à transmettre ;
K le rendement du moteur.

Application : Soient $n = 10$ chevaux ; $K = 90\%$;
 $l = 2.600$ mètres ; $E = 400$ volts ; $e = 10\%$.

On aura pour la section à donner au conducteur :

$$S = 0,026 \frac{10 \times 2000}{0,9 \times 400 \times 40} = 36 \text{ millimètres carrés.}$$

Exemples de transmissions électriques.

Il existe de nombreux exemples de transmissions électriques parmi lesquels nous citerons :

1° **Manœuvre à distance des appareils de levage.** — A la fonderie de canons de Bourges, une grue d'une force portante de 20 tonnes est actionnée par une machine Gramme pouvant développer 12 chevaux. Cette machine est commandée par une génératrice placée à 300 mètres de distance moyenne et absorbant au maximum 20 chevaux. Cette installation date de 1882. On a construit une nouvelle grue d'une puissance de 40 tonnes actionnée par deux dynamos Gramme développant ensemble 25 chevaux. Les machines réceptrices ont une vitesse maximum de 800 tours par minute.

Dans l'atelier de construction de machines de M. J. Farcol il existe une grue de fonderie de 30 tonnes de force, actionnée autrefois par dix hommes et conduite aujourd'hui par une réceptrice Gramme faisant 1.000 tours par minute. La génératrice, qui est à 90 mètres de la grue, tourne à une vitesse de 1.550 tours ; elle fournit un courant de 15 ampères sous 350 volts, et la résistance du conducteur est de 0,2 ohm. Le rendement électrique est de 65 %, et le rendement industriel de 38 %.

Dans les ateliers de M. Marinoni, constructeur de presses typographiques, on a installé un pont roulant, pesant 6.000 kilogrammes, qui est mué électriquement. La machine produit 40 ampères sous 250 volts ; les réceptrices sont au nombre de deux ; l'une sert à faire avancer le pont, l'autre à actionner un treuil qui soulève les charges. L'ascension des fardeaux est trois fois plus rapide qu'à bras d'homme.

On trouve dans la note de M. H. Fontaine la description du système adopté par la Compagnie des mines de La Peronnière (Loire) pour transmettre la force d'une machine à vapeur, placée à l'extérieur, sur un plan incliné. La distance du transport est de 1.200 mètres. La machine à vapeur fait 65 tours par minute ; elle commande deux machines Gramme génératrices qui tournent à la vitesse de 1.300 tours. Le courant arrive à deux machines Gramme réceptrices placées dans l'intérieur de la mine et dont la vitesse varie entre les 910 et les 610 de celle des génératrices. Ces réceptrices commandent enfin le treuil du plan incliné. Il y a quatre câbles conducteurs, deux par couple de dynamos ; ils sont formés chacun de seize fils de cuivre de 11/10 de millimètre

de diamètre, leur résistance est de 0,001 ohm par mètre. Ils sont parfaitement isolés et coûtent 3 francs le mètre.

On a comparé le travail brut de la vapeur dans le cylindre du moteur au travail utile en houille élevée : avec une dépense totale de 1.650 kilogrammes, on élevait 400 kilogrammes de charbon en 125 secondes, ce qui représente un travail de 128 kilogrammètres. Le rendement était donc de 12,2 % avec une seule benne. Il atteignait 26,1 % avec quatre bennes.

Le rendement pratique de la transmission électrique proprement dite a été évalué à 50 % au minimum.

La dépense à faire pour établir une extraction par l'électricité de 1.600 kilogrammes de houille à 40 mètres de hauteur en 151 secondes est de 25.325 francs ; il faut ajouter à cette somme le prix du câble, qui est de 3 francs le mètre pour les endroits humides et de 1 fr. 25 pour les endroits secs, l'isolation, dans ce dernier cas n'ayant pas besoin d'être aussi parfait.

M. H. Fontaine donne également des renseignements sur une transmission électrique installée aux mines de diamants de Diamantina (Brésil).

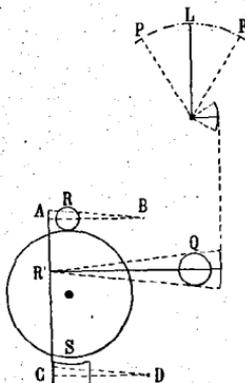
Enfin, voici quelques détails sur une application qui a été décrite dans la *Revue industrielle* en 1885.

M. Jaspas, constructeur de machines-outils à Liège (Belgique), a installé dans ses ateliers un plan incliné à treuil électrique. Ce plan incliné a une longueur de 22 mètres et rachète une dénivellation de 5m,25 ; la pente est donc de 0m,40 par mètre. La machine Gramme génératrice, du type normal, est commandée directement par la machine à vapeur des ateliers, placée à une centaine de mètres de la réceptrice, qui est aussi une machine Gramme, type normal. Chaque ascension se fait en cinq minutes, le poids des charges élevées varie de 4 à 6 tonnes. Le rendement de dynamo à dynamo atteint 55 %, comme dans la plupart des cas où la résistance de la ligne est presque nulle et où on se sert de machines étudiées pour l'éclairage électrique. Le schéma (page 970) fait comprendre le dispositif employé pour la commande.

L'embrayage et le frein se manœuvrent par le levier L ; ils sont disposés de telle sorte que le sabot de friction du frein S reste toujours sur la roue R' lorsque l'appareil est abandonné à lui-même et presse suffisamment contre cette roue pour arrêter le maximum de la charge. On peut donc modérer la descente, et la sécurité est absolue. Le parallélogramme ABCD rend solidaires le mouvement de la roue de commande R qui actionne la machine Gramme et celui du sabot de friction, et l'on peut, par la seule manœuvre du levier L, faire monter, descendre ou arrêter la charge. En agissant sur le levier de droite à gauche (vers le point P), la roue R se met en contact avec la roue R', l'entretoise, et le chariot monte sur le plan incliné. Si, au contraire, on amène le levier L au point P', c'est le sabot du frein qui vient en contact avec la roue R' et arrête son mouvement pour immobiliser le chariot ou ralentir sa descente. Le contrepoids Q agit sur le sabot, et sa puissance est assez grande pour obtenir l'arrêt instantané du chariot ; l'ouvrier, en agissant sur le levier L, détruit plus ou moins l'action de ce contrepoids et donne à la descente du chariot l'allure qu'il désire. Un puits de 11 mètres de profondeur, établi sous le treuil, renferme un contrepoids en fonte mouffé qui équilibre le poids propre du chariot et la chaîne de traction, qui est du système Gall.

Voici quelques chiffres permettant d'apprécier les résultats obtenus : la ligne est formée de 230 mètres de fil de cuivre de 4 millimètres de diamètre, ce qui donne une résistance de 0,33 ohm. La machine réceptrice (de 1 ohm de résistance intérieure), tournant

à 1.300 tours avec 150 volts aux bornes et un débit de 30 ampères, développe, pour monter en 6 minutes 3.000 kilogrammes à 5^m.30 de hauteur (8.000 kilogrammes, maximum de charge majoré du poids mort et du frottement), une force de 4 1/2 chevaux-vapeur. La génératrice tourne à 2.100 tours avec 190 volts aux bornes et un débit de 30 ampères. Elle exige une force motrice de 8 chevaux, ce qui donne comme rendement entre l'arbre de la génératrice et celui de la réceptrice 56 %.



2^o Commande à distance des ventilateurs, pompes, etc. — La note de M. Fontaine sur les transmissions électriques (novembre 1885), d'où nous avons extrait les renseignements précédents, donne également la description des installations faites à l'Hôtel de ville de Paris et à la nouvelle École centrale pour la commande à distance des ventilateurs.

Des transmissions électriques sont encore employées pour l'élevation de l'eau :

1^o Aux mines de Blanzj;

2^o Aux mines de Thalern (Autriche);

3^o A l'économat du chemin de fer d'Orléans à Choisy.

3^o Expériences et applications diverses. — On trouvera au mot TRANSPORT DE LA FORCE le compte rendu des expériences faites à Sermaize pour le labourage électrique à distance. La transmission électrique de la force est naturellement avantageuse quand on peut faire mouvoir la génératrice à l'aide d'une force naturelle. Ainsi on a réalisé, en 1886, en Suisse, entre Kriegstetten et Solcure, une expérience de transmission électrique de force dont les résultats méritent d'être signalés. La station génératrice de Kriegstetten utilise une chute d'eau d'une puissance variant de 30 à 50 chevaux; une turbine y actionne deux dynamos couplées en série et donnant à la vitesse de 700 tours par minute 1.250 volts et 15 à 18 ampères.

Le courant est transmis par une ligne à trois conducteurs en cuivre nu, de 6 millimètres de diamètre chacun, d'une longueur de 8 kilomètres, et ayant une résistance de 9,228 ohms. Cette ligne est portée par cent quatre-vingt poteaux en bois auxquels elle est fixée au moyen d'ISOLATEURS du système Johnson et Phillips de Londres.

La station réceptrice est à Solcure; elle comprend deux machines dynamos reliées en série, d'un modèle un peu plus petit que celui des dynamos génératrices. Les quatre machines sont excitées en série; mais elles sont munies d'un commutateur automatique qui mettrait les inducteurs en dérivation si, par suite d'un accident, l'intensité du courant venait à dépasser la valeur au delà de laquelle les bobines pourraient être détériorées. Les résistances intérieures des machines sont de 3,791 ohms pour chaque génératrice, et de 3,77 ohms pour chaque réceptrice.

On a déterminé expérimentalement, avec beaucoup de soin, l'intensité du courant à Kriegstetten et à Solcure, les différences de potentiel aux bornes des machines génératrices et réceptrices, les résistances de la ligne et des dynamos, le travail fourni par la turbine à la station génératrice, enfin le travail fourni sur l'arbre des réceptrices. Avec ces données, on a pu calculer les puissances électriques des machines et les divers rendements. Voici les chiffres d'une des expériences :

	KRIEGSTETTEN.	SOLCURE.
Intensité du courant en ampères.....	11,47	11,42
Force électromotrice en volts.....	1.836,50	1.575,30
Différence de potentiel aux bornes en volts....	1.753,30	1.655,90
Puissance mécanique totale en chevaux.....	30,85	23,21
Puissance électrique totale en chevaux.....	28,68	24,46
Puissance électrique aux bornes en chevaux....	27,36	23,71
Rendement électrique des dynamos %.....	92,9	91,9
Rendement industriel des dynamos %.....	88,7	80,3
Rendement industriel de la transmission.....	75,2	

On a donc obtenu un rendement industriel de 75 % pour une dépense de 39 chevaux à la station génératrice. Ce résultat est dû aux principales causes suivantes : rendement élevé des dynamos; emploi d'une ligne en fil de cuivre de diamètre assez fort pour qu'elle n'absorbe pas une trop grande énergie électrique; emploi de forces électromotrices élevées par rapport à l'énergie transportée, qui est relativement

peu considérable; isolation à peu près complète de la ligne. Ce dernier point présente un grand intérêt.

Une application intéressante de transmission de force par l'électricité a été faite en 1887 en Suisse, sur les bords du lac des Quatre-Cantons. On a construit un chemin de fer funiculaire, à crémaillère, pour relier Kehrstien, station des bateaux à vapeur, au Borgenstock, situé au sommet d'un rocher vertical

à 410 mètres au-dessus du lac. Cette ligne de chemin de fer, dont l'inclinaison atteint 58 %, et dont la longueur est de 936 mètres, est parcourue par des voitures pouvant transporter trente-deux personnes. Le wagon montant et le wagon descendant sont tous deux attachés à l'extrémité d'un câble qui s'enroule sur une poulie placée à la station du Burgenstock; cette poulie est mise en mouvement par un système mécanique actionné lui-même à l'aide de courroies et de poulies par deux machines dynamos de vingt-cinq chevaux chacune et tournant à une vitesse de sept centstours par minute. Dans ces conditions, la poulie du câble tourne à raison de cinq tours seulement par minute, ce qui correspond à une vitesse d'enroulement du câble d'un mètre par seconde.

La force nécessaire à la traction du chemin de fer est fournie, près de Buochs, par la rivière d'As, sur laquelle on a installé une turbine de 120 à 150 chevaux. L'usine hydraulique se trouve à 4 kilomètres du Burgenstock; la turbine fait tourner deux groupes de deux dynamos dont le courant est envoyé à la station du Burgenstock par une ligne composée de trois fils de 0^m,0075 de diamètre, en cuivre. Pour réduire le poids et par suite le prix de cette ligne, on a eu recours à des courants de haute tension; on a donc accompli les deux machines de chaque groupe en série. Pour faciliter la marche indépendante avec l'une ou l'autre des machines, on a adopté le mode de distribution à trois conducteurs. Si le service se fait avec une seule machine, on couple la ligne neutre ou troisième conducteur avec l'une des deux autres.

L'électricité envoyée ainsi de la station hydraulique de Buochs à la station terminus supérieure du chemin de fer, c'est-à-dire au Burgenstock, ne sert pas seulement à actionner les dynamos qui transmettent leur mouvement à la poulie du câble du chemin de fer; mais elle est également utilisée pour l'éclairage de l'hôtel du Burgenstock.

Cet éclairage, ainsi que les transmissions, absorbe une force d'environ 30 chevaux.

Enfin, pendant les intervalles libres existant entre la marche des trains, l'énergie électrique transmise au Burgenstock est utilisée encore à une distance de 600 mètres environ pour alimenter un moteur électrique de 12 à 16 chevaux servant à élever à 400 mètres de hauteur l'eau de source nécessaire pour les besoins de l'hôtel.

Le service de cette transmission de force est donc essentiellement variable, ce qui présentait des difficultés spéciales et nécessitait l'emploi d'un certain nombre d'appareils destinés à faciliter les manœuvres de mise en marche et d'arrêt que le personnel a successivement à exécuter.

De plus, le col du Burgenstock est particulièrement exposé aux coups de foudre. Pendant l'été de 1887, il s'est produit pendant le même orage jusqu'à neuf violentes décharges successives dans la ligne de transmission de force; des lignes télégraphiques et téléphoniques voisines ont été endommagées et les appareils qu'elles desservait mis hors de service. Aussi, pour empêcher que ces décharges ne compromettent l'isolement des machines, a-t-on dû les protéger par des appareils spéciaux: paratonnerres, bobines d'induction et condensateurs, dont la disposition est indiquée ci-après.

Les deux machines génératrices sont du système *Thury* type C.7; elles sont excitées en circuit; leur vitesse normale est de 800 tours; elles atteignent, à ce régime, avec un courant de 25 ampères, une différence de potentiel de 800 volts chacune, en absorbant une force totale de 60 chevaux.

Deux ampèremètres servent à contrôler le courant des machines, qui peuvent être mises hors de circuit par deux interrupteurs. Deux déclencheurs automatiques sont destinés à éviter qu'un contact sur la ligne puisse provoquer une avarie aux machines; ils n'ont pas à couper le courant principal, mais à fermer sur lui-même le circuit d'excitation, ce qui désamorce immédiatement les machines.

Les deux réceptrices sont du même type que les génératrices; leur vitesse est de 750 tours par minute, la différence de potentiel aux bornes de ces machines est de 690 volts, soit une différence totale de 1.380 volts, ce qui produit un travail utile de 43 chevaux et demi.

Une résistance de 20 ohms environ sert au démarrage des machines motrices du chemin de fer et du moteur de la pompe; deux permutoires servent à interchanger les machines réceptrices en service. Un interrupteur général permet de couper le courant principal; il est composé de douze contacts en tension.

Chaque ligne est pourvue à chaque extrémité d'un système de parafoudre complet, qui se compose d'un paratonnerre à pointe en communication avec la terre, d'une bobine d'induction offrant peu de résistance au passage d'un courant continu, mais presque infranchissable aux courants instantanés, et enfin d'un condensateur à grande surface ayant l'une de ses armatures à la terre et l'autre branchées immédiatement après la bobine d'induction, entre celle-ci et la machine. Les faibles décharges qui peuvent traverser la bobine viennent se condenser et n'atteignent pas la machine. Les violentes décharges sont divisées; une faible partie de l'électricité traverse la bobine d'induction et est condensée; la plus forte partie, arrêtée par la bobine, passe à la terre par le parafoudre.

Les chiffres suivants donnent les caractéristiques des machines et le rendement général de l'installation :

Machines génératrices :

Résistance de l'inducteur.....	1.30 ohm.
Résistance de l'induit.....	0.69 —
Diamètre des induits.....	0.250 millim.
Longueur des induits.....	0.350 —
Longueur utile enroulée par volt pour 800 volts aux bornes.....	0.165 —

Machines réceptrices :

Résistance de l'inducteur.....	1.30 ohm.
Résistance de l'induit.....	0.50 —
Diamètre des induits.....	0.230 millim.
Longueur des induits.....	0.350 —
Longueur utile enroulée par volt pour 712,5 volts.....	0.190 —

Le rendement varie peu avec les différences d'intensité du courant; nous en établissons le calcul en prenant pour base un courant de 20 ampères. Force électromotrice aux bornes des machines génératrices, 1.600 volts X 20 ampères.....	32.000 watts.
La perte due à la résistance intérieure des génératrices est de 76 volts X 20 ampères, soit.....	1.520 —
Frottements et courants de Foucault.....	900 —

Travail absorbé par les machines génératrices..... 31.420 watts.

Force électromotrice aux bornes des machines réceptrices, 1,425 volts \times 20 ampères... 28.500 watts.

Perle due à la résistance intér. des réceptrices, 72 volts \times 20 ampères. 1.440 } 2.340 —
Perle due aux frottements et courants de Foucault..... 100

Travail utile disponible aux machines réceptrices..... 26.160 watts.

Rendement: $\frac{26.160}{34.420} = 76$ pour 100 (35,5 chevaux).

Le travail à transmettre est essentiellement variable; il atteint 45 chevaux pour le service du chemin de fer seul; le rendement ne varie cependant pas, pour cela, d'une manière bien considérable.

Le premier établissement, y compris la station électrique, a coûté 350.000 francs en chiffre rond.

TRANSMISSION TÉLÉGRAPHIQUE SIMULTANÉE. — Action d'envoyer sur une ligne deux ou plusieurs signaux télégraphiques, en même temps, dans le même sens ou en sens contraire, et par suite, d'échanger des dépêches en donnant à la ligne un rendement plus grand, puisqu'elle dessert deux ou plusieurs appareils à chacune de ses extrémités.

Il y a plusieurs genres de transmissions simultanées, savoir :

1° La *transmission duplex*, qui consiste à envoyer deux dépêches des deux extrémités de la ligne;

2° La *transmission duplex ou biphlex*, qui consiste à envoyer deux dépêches dans le même sens;

3° La *transmission quadruplex*, qui consiste à combiner la transmission duplex avec la transmission biphlex, ce qui permet d'envoyer quatre dépêches, deux dans un sens, deux dans l'autre;

4° La *transmission multiplex*, qui consiste à envoyer un plus ou moins grand nombre de dépêches dans le même sens ou en sens contraire, en se basant sur la division du temps au moyen d'appareils synchroniques.

Transmission duplex.

Elle a été imaginée en 1833 par le physicien allemand Ginti, mais elle n'est entrée dans le domaine de la pratique qu'après les travaux de M. Stearns, en Amérique.

La transmission duplex peut être appliquée à tous les appareils et réalisés par diverses méthodes, dont les deux principales sont la *méthode différentielle* et la *méthode du pont de Wheatstone*. La deuxième, perfectionnée par M. Muirhead, est préférable pour les lignes sous-marines desservies par des récepteurs très sensibles, tels que l'appareil à miroir ou le système recordon de Thomson.

Nous décrirons ces deux méthodes principales, ainsi que les systèmes imaginés par M. Tommasi et par M. Orduna.

I. Méthode différentielle. — Le récepteur E (fig. 1) de chacun des postes, devant marcher sous l'influence du courant reçu dans quelque position que se trouve le manipulateur M, est placé entre la ligne et ce manipulateur, qui a pour fonction d'établir électriquement la communication avec la pile et avec la terre. De plus, le récepteur ne doit pas fonctionner lorsque le courant émane du poste où il se trouve; on remplit aisément cette condition en formant la bobine de l'électro-aimant E de deux fils distincts $a'a'$, $b'b'$ enroulés en sens contraire, et dont les extrémités a' et b' sont en relation, d'un côté, avec le manipulateur. De l'autre côté, l'extrémité a' de l'un des

fils est relié à la terre par l'intermédiaire d'une résistance convenable r , dite *résistance artificielle*, et l'extrémité b' du deuxième fil est en communication avec la ligne. Ordinairement les deux fils ainsi enroulés sont identiques; chacun d'eux constitue une des bobines de l'électro-aimant, et le même récepteur peut servir à la transmission ordinaire ou à la transmission duplex. Si l'un des postes envoie seul un courant, le fluide électrique traversera en sens contraire les deux bobines du récepteur au départ; une partie ira sur la ligne et l'autre à la terre par la résistance artificielle; le récepteur restera au repos si les deux courants sont égaux, ce qu'on réalise en rendant la résistance artificielle équivalente à celle des conducteurs qui forment l'autre circuit (ligne et récepteur de l'autre poste). On remplit facilement cette condition expérimentalement en faisant varier la résistance artificielle, de façon que l'appareil n'accuse aucun signal pendant qu'on transmet. Si le courant vient du poste correspondant, il traverse d'abord une seule des bobines, et il trouve pour se rendre à la terre deux chemins; le manipulateur et la deuxième bobine; mais la résistance de cette dernière étant très grande par rapport à celle du sol, il ne passera par la bobine qu'une fraction négligeable du courant. Enfin, si les deux cor-

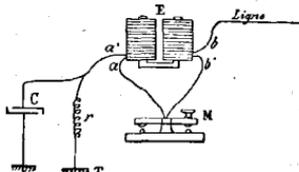


Fig. 1.

respondants envoient ensemble le courant, on peut considérer chacune des piles comme agissant isolément, et l'effet résultant sur les électro-aimants comme égal à la somme des actions dues à chacune de ces piles. Or, chaque récepteur est insensible au courant qui part du poste où il se trouve et fonctionne sous l'influence de celui qui est émis par le correspondant; celui-ci produit donc le même effet que dans le cas où il est seul envoyé. En résumé, si les courants se détruisent sur la ligne, l'aimantation de l'électro-aimant est due au courant local qui traverse la seconde bobine.

Le courant reçu par chacun des postes se rend donc à la terre soit directement, soit en passant par la pile, et il peut en résulter une différence d'effet tenant à la résistance qu'offrent les liquides de cette dernière; on peut y remédier en intercalant une résistance égale sur le parcours du fil qui va directement du manipulateur à la terre.

Lorsque à l'un des postes on passe de la position d'émission à celle de réception, le circuit se trouve rompu pendant un instant au manipulateur, mais il se complète par la seconde bobine de l'électro-aimant; la force magnétique développée par le courant du correspondant ne change pas, car si le nombre des tours parcourus par ce courant est double, son intensité est réduite de moitié par suite de l'augmentation de résistance.

Il n'en serait pas de même si les nombres de tours formés par les deux circuits sur l'électro-aimant n'étaient pas égaux, et dans ce cas, il serait nécessaire d'éviter, pendant la transmission, l'isolement au

manipulateur; ce résultat s'obtient facilement en formant cet appareil de deux leviers indépendants, dont l'un, en communication avec les bobines du récepteur, appuie sur un contact en relation avec la terre, tandis que l'autre communique à la pile. En appuyant sur l'extrémité du second pour manipuler, on soulève l'extrémité opposée, qui agit sur le premier levier et rompt toute relation avec le sol au moment même où s'établit la communication avec la pile. Ce genre de manipulateur est employé toutes les fois qu'il y a intérêt à éviter l'isolement du fil de la ligne. Enfin, la charge électrique produite sur la ligne par chaque émission de courant se déchargeant à la terre par les deux postes extrêmes, il est nécessaire d'annuler ce courant de décharge pour qu'il n'influence pas les récepteurs. On y arrive en employant dans chaque poste un CONDENSATEUR DE CAPACITÉ CONVENABLE.

M. Edison a imaginé un système télégraphique, auquel il a donné le nom de PHONOPLEX, qui permet

d'appliquer sur les lignes télégraphiques des chemins de fer la transmission en duplex ou en diplex sans avoir besoin de donner aux différents tronçons de ligne successifs les mêmes qualités électriques qui sont indispensables pour ces genres de transmission.

Application de la méthode différentielle à deux postes télégraphiques Morse ordinaires. — Le système suivant, qui a été décrit dans le journal espagnol *la Electricidad*, nous paraît très pratique :

A et B sont les deux postes qui doivent correspondre en duplex et L est la ligne qui les relie (fig. 2). Dans chaque poste se trouvent : un récepteur R, un AUTOSTAT C, un manipulateur M et une pile P. Dans l'une des stations, c'est le pôle positif de la pile qui est à la terre; dans l'autre, c'est le pôle négatif.

Les choses étant disposées comme l'indique le schéma, supposons que les deux postes A et B soient au repos. Dans chacun d'eux la pile P émet un cou-

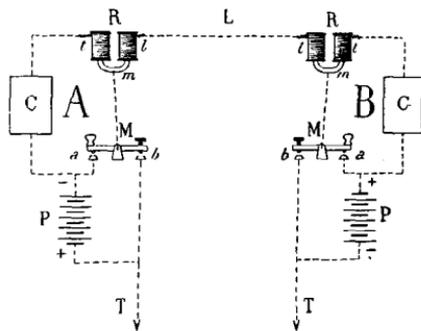


FIG. 2.

rant qui, après avoir passé par le rhéostat et par la bobine *l* du récepteur, arrive en *m*, point de jonction des fils qui entourent les deux bobines de l'électroaimant. De *m* le courant arrive au manipulateur M, le traverse et retourne par *b* à la pile. Il n'y a, par conséquent, aucune circulation de courant sur la ligne L, ni dans les bobines *l* des récepteurs. Le ressort antagoniste du récepteur est tendu de façon que l'armature ne soit pas attirée par la bobine *l*, mais qu'elle puisse cependant obéir à une attraction très énergique.

Si maintenant l'agent du poste A abaisse son manipulateur, le circuit de sa pile se trouve interrompu en *b*, et un contact s'établit entre *a* et le levier du manipulateur; le courant qui parcourt le rhéostat et la bobine *l* cesse, tandis qu'un autre circuit se ferme par *a*, M, *m*, *l*, du poste A par la ligne L, et par *l*, *m*, M, *b* et la terre T du poste B. L'armature du récepteur du poste A ne bougera pas, puisque la force attractive de la bobine *l* a été remplacée par la force attractive de la bobine *l*, qui est équivalente, en vertu du réglage préalablement obtenu au moyen du ressort antagoniste et du rhéostat. Au poste B, au contraire, l'armature sera attirée, car la force attractive de la bobine *l*, insuffisante quand elle est seule, s'est accrue de celle de la bobine *l* traversée par le courant du poste A; on produira donc, au moyen du manipulateur de A, un signe correspondant.

On aura les mêmes effets lorsque l'agent du poste B abaissera son manipulateur pendant que le manipulateur du poste A sera au repos. Si les deux manipulateurs sont abaissés simultanément, aucun courant ne traversera les bobines *l* du récepteur, mais les bobines *l* seront parcourues par la totalité des courants des deux piles qui s'ajoutent, et l'action sera alors assez énergique pour attirer l'armature et produire ce que l'on appelle le *signal double* en télégraphie duplex.

Ce système fonctionne, parait-il, avec succès en Espagne entre Madrid et Séville (sur un fil de 600 kilomètres de longueur et de 5 millimètres de diamètre), avec l'adjonction de condensateurs, et entre Madrid et Valence (sur un fil de 350 kilomètres de longueur et de 4 millimètres de diamètre) sans condensateurs, enfin, entre Valence et Barcelone (sur un fil de 420 kilomètres de longueur et de 4 millimètres de diamètre). On emploie un condensateur dans cette dernière station à cause de la longueur considérable des câbles souterrains de Barcelone.

II. Méthode du pont de Wheatstone.

— L'appareil récepteur est placé sur la diagonale d'un parallélogramme dont deux côtés adjacents sont touchés par leur point de contact au manipulateur, tandis que les deux autres côtés sont formés, l'un par la ligne et l'autre par le poste correspondant, l'autre par une *ligne artificielle* en communication avec le sol, qui

constitue le quatrième sommet du parallélogramme (fig. 3). Quand on transmet, aucun courant ne traverse le récepteur si les produits des résistances des côtés opposés du parallélogramme sont égaux, condition facile à remplir par l'expérience, en intercalant des résistances artificielles r, r', r'' sur trois des côtés. Si, au contraire, le courant est envoyé par le correspondant, une partie passe par la diagonale du parallélogramme et fait fonctionner le récepteur, dont le jeu est indépendant de la position du manipulateur du

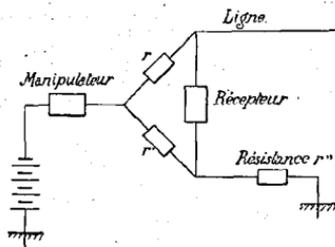


Fig. 3.

poste où il est placé. Dans la pratique, on rend à peu près égales la résistance de la ligne artificielle qui est en communication avec la terre et celle de la ligne réelle, et pour les deux autres côtés du parallélogramme on prend des résistances représentant environ le quart ou le cinquième de celle de la ligne.

Application de la méthode sur les lignes sous-marines. Emploi de condensateurs. — Tous les effets de charge et de décharge qui se manifestent sur la ligne réelle doivent être identiquement reproduits sur la ligne artificielle, pour que l'appareil récepteur reste rigoureusement au repos pendant les transmissions qui parlent du poste où il se trouve. Ces effets sont à peu près insensibles sur les lignes aériennes dont la longueur ne dépasse pas 400 à 450 kilomètres, et il suffit, pour ces lignes, d'équilibrer les résistances; mais il n'en est pas de même pour les lignes aériennes plus longues, et surtout pour les câbles sous-marins, qui prennent une charge considérable due à l'influence de l'armature extérieure.

Il faut dans ce cas ajouter à la ligne factice des

condensateurs pouvant prendre des charges soudaines d'électricité STATIQUE, et qu'on combine avec des résistances, de façon à reproduire, autant que possible, les conditions électriques de la ligne réelle. L'addition de condensateurs sur la ligne factice a été essayée pour la première fois en 1855 par M. de Sauty, dans les expériences faites entre Londres et Birmingham; elle a été introduite de nouveau en 1868 par M. Stearns, et est appliquée à tous les câbles desservis par la transmission duplex.

Pour rendre identiques les conditions de la ligne réelle et de la ligne factice, M. Muirhead a formé cette dernière de bandes métalliques d'épaisseur infiniment faible, qui offrent une grande RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE en même temps qu'elles forment l'une des armatures d'un condensateur dont l'autre est reliée au sol; il introduit, en outre, entre les deux sommets du pont auxquels aboutissent la ligne réelle et la ligne factice, et ces deux lignes, des résistances assez considérables (de 2.000 ohms environ) pour que l'appareil ne se trouve pas immédiatement en relation avec le câble et le condensateur. Cette introduction de résistances contribue à améliorer la transmission en diminuant l'effet des charges et des décharges lorsque l'équilibre n'est pas établi d'une façon absolument rigoureuse.

La transmission sur les câbles sous-marins ayant lieu au moyen de courants de durées courtes et égales, dont on fait seulement varier la direction et les intervalles, on n'envoie pas ordinairement directement le courant sur le fil conducteur; on fait usage de condensateurs indépendants du condensateur principal destiné à rétablir l'équilibre, qu'on intercale de diverses manières dans le circuit, comme il a été dit précédemment, et dont les armatures s'éclaircissent en sens contraire pendant la transmission.

Sur le câble d'Aden à Bombay, par exemple, qui a une longueur de 4.827 milles marins, une résistance égale à 12.827 ohms et une capacité totale de 656 MICROFARADS, on emploie sur diverses sections du pont des condensateurs dont la capacité varie de 1 à 3 microfarads, alors que celle du condensateur principal de la ligne factice est à peu près égale à celle du câble entier et n'exige pas moins de 4 à 5.000 mètres carrés de surfaces métalliques. (Extrait du Rapport de M. Navier, Jury de l'Exposition internationale d'électricité, Paris, 1881.)

Système de M. Tommasi. — Voici le principe du système de duplex imaginé par M. Tommasi: chaque

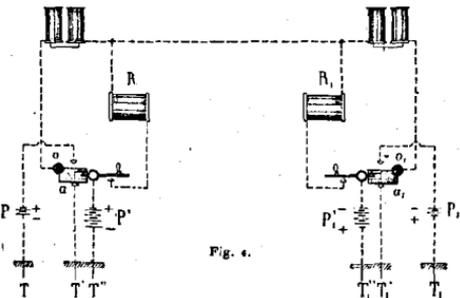


Fig. 4.

poste se compose (fig. 4) d'un récepteur Morse, d'une clef Morse disposée de façon à être en contact avec

la terre dans trois positions différentes, enfin d'une résistance fixe.

Dans chaque poste on dispose deux piles (P, P' et P, P'). Pour simplifier le langage, désignons par 1 et 2 les forces de ces piles, et par les mêmes nombres la résistance du récepteur et du rhéostat R, R, de chacun des postes.

Quand on abaisse une clef Morse, celle du poste de gauche, par exemple, la pièce α bascule autour de l'axe α , le contact de cette pièce avec le fil de terre T' est supprimé; mais elle vient buter contre le contact supérieur relié à la pile P de 1 unité; en même temps le courant fourni par la pile P' de 2 unités traverse le rhéostat R, passe dans le fil de ligne, arrive au récepteur du poste de droite et se rend de là à la terre. Ce récepteur est actionné, mais celui du poste transmetteur ne l'est pas, parce que le courant de la pile P' de 2 unités traverse à la fois les récepteurs des deux postes. Au poste de droite rien ne fait équilibre à ce courant, tandis qu'au poste de gauche il rencontre le courant de sens contraire émis par la pile P de 1 unité.

Le même effet se produirait si le poste de droite travaillait seul, c'est-à-dire que son récepteur resterait en repos tandis que celui du poste de gauche serait seul actionné.

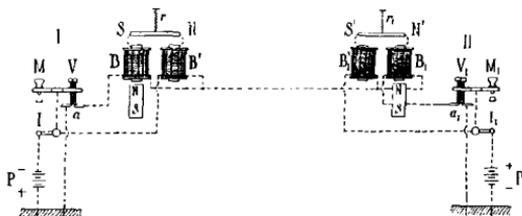


Fig. 5.

ces bobines sont indépendantes. Dans chaque poste l'une (B et B) est polarisée par un AIMANT, l'autre (B' et B') est neutre.

I et I, sont des interrupteurs, P et P, les piles. Les bobines B' et B', sont reliées à ces piles par l'intermédiaire des interrupteurs; enfin les bobines B et B, sont en communication avec une pièce isolée (α , α), reliée à la terre. Quant aux manipulateurs M et M, ils consistent en clefs Morse dont les extrémités sont munies d'une vis V et V, s'appuyant (quand la clef est au repos) sur les pièces isolées α et α .

Les deux piles sont montées en opposition. Ceci posé, le fonctionnement du système est facile à comprendre. Quand aucun poste ne travaille, le circuit reste fermé. Quand l'un des postes, le poste I, par exemple, travaille, le courant de la pile P passe dans la bobine B', dans la ligne, dans la bobine B, dans le manipulateur M, et se rend à la terre. On donne au ressort antagoniste r de l'armature de la bobine B' la force nécessaire pour que cette armature ne soit pas attirée lorsque le courant traverse cette bobine. Au poste II, le courant, qui arrive en M', trouve une interruption α , dans le circuit métallique, il passe dans la bobine B, et l'armature S' N' est attirée dans la bobine B, et l'armature S' N' est attirée par les deux bobines. Le même effet n'a pu se produire au poste I, parce que, le manipulateur étant soulevé, la vis V laisse les deux contacts de la pièce α isolés.

Ainsi donc, quand un poste travaille seul, son

Enfin, si les deux postes travaillent simultanément, chacun d'eux produit une action sur le récepteur de son correspondant sans que son récepteur propre soit impressionné. Dans le cas considéré il est facile de voir que la pile de 2 unités se complète avec la pile de 1 unité de l'autre poste, puisque le courant de cette pile ne se rend plus à la terre; mais, comme le courant total émis par ces deux piles traverse le récepteur et le rhéostat intercalé dans le circuit, il en résulte que l'énergie du courant qui passe dans le récepteur est la même que dans le cas de travail d'un seul poste. Enfin, il est utile de faire remarquer que la résistance des rhéostats était indépendante de celle de la ligne et dépendant seulement de la résistance des récepteurs, résistance qui est toujours la même, il n'y a pas lieu de modifier le réglage des appareils suivant l'état de la ligne, ce qui constitue un avantage sérieux.

Méthode Orduna. — Le schéma (fig. 5) permet de se rendre compte du système proposé par M. Orduna.

B et B', B, et B', représentent les bobines du récepteur de chacun des deux postes en correspondance;

récepteur reste inactif, le récepteur du poste correspondant est seul impressionné.

Si maintenant les deux postes travaillent simultanément, comme dans chacun de ces postes les manipulateurs sont sans action sur les bobines B et B, qui y sont reliées, les courants envoyés par les deux piles montées en opposition s'ajoutent et traversent les bobines B' et B', grâce au mode d'enroulement adopté pour le fil de ces bobines, de sorte que les armatures SN et S' N' sont attirées.

Le système décrit annule les effets dus aux courants de retour sans emploi de condensateurs, parce que, à cause du montage des piles en opposition ou de l'enroulement en sens inverse des bobines, ce courant en retour s'agit qu'en sens contraire de celui qui produit l'attraction de l'armature.

Parmi les systèmes de transmission simultanée nous citerons encore ceux de MM. Ailhaud, Fuchs, Drasseur et de Jaër, etc., qui figuraient à l'Exposition d'électricité de Paris en 1881.

Le mode de transmission en duplex, qui est fréquemment employé en Amérique, est d'une application difficile sur les lignes télégraphiques des chemins de fer composées de tronçons successifs de résistance, de capacité et d'isolement différents. On serait amené, pour établir la transmission en duplex, à rétablir l'équilibre des appareils chaque fois que les communications changent. De là des pertes de temps qui annuleraient tous les avantages que l'on retire des transmissions simultanées.

Transmission diplex.

La transmission diplex a pour but, ainsi que nous l'avons dit plus haut, de transmettre simultanément deux dépêches par le même fil dans le même sens.

Le problème, résolu pour la première fois en 1835 par M. Stark à Vienne et par M. Boscha à Leyde, est susceptible de plusieurs solutions : on peut répartir le temps entre les manipulateurs et synchroniser la réception, on employe des courants alternatifs et s'arranger de façon que les récepteurs ne soient actionnés que par des courants de certain sens, ou enfin employer plusieurs piles d'intensité différentes et des récepteurs qui ne soient impressionnés que par des combinaisons déterminées. M. Sieur a imaginé un système de ce genre basé sur l'emploi d'un distributeur qui envoie alternativement sur la ligne un courant positif et un courant négatif agissant à l'arrivée sur un relais polarisé à deux armatures dont l'une vibre sous l'influence du courant positif, l'autre sous l'influence du courant négatif. Les manipulateurs placés au poste expéditeur suppriment, l'un les émissions positives, l'autre les émissions négatives, et à chaque suppression l'armature correspondante du relais cessant de vibrer ferme un circuit local dans un récepteur. Un autre système du même inventeur consiste dans l'emploi d'un relais à deux armatures fonctionnant chacune sous l'action d'un courant d'une intensité déterminée. Chaque armature actionne les piles locales des récepteurs. Dans ce système, entre les manipulateurs et les piles sont intercalés des rhéostats tels que l'intensité du courant envoyé sur la ligne soit différente selon que le premier ou que le second manipulateur fonctionne seul ou que ces deux appareils fonctionnent simultanément.

L'observation faite plus haut en ce qui concerne l'emploi de la méthode duplex à la télégraphie des chemins de fer s'applique aussi au système diplex.

Transmission quadruplex.

Ce mode de transmission, qui est une combinaison du duplex et du diplex, a été réalisé par M. Edison en 1874 ; il a été ensuite perfectionné par M. Gerrit Smith en 1876 et par M. Preece. A chaque extrémité de la ligne se trouvent deux RELAIS, dont l'un, *polarisé*, n'est sensible qu'aux courants alternatifs, et dont l'autre, *non polarisé*, n'est sensible qu'aux différences d'intensité de courant, quel que soit leur sens. Les deux relais de chaque extrémité de la ligne étant montés en diplex, on conçoit que l'on puisse expédier de chaque poste deux dépêches de même sens, c'est-à-dire quatre dépêches en même temps.

Transmission multiplex.

La transmission multiplex, qui a pour but d'envoyer plusieurs dépêches en même temps dans un seul sens ou en sens contraire, a été réalisée pratiquement par M. Meyer au moyen de son *télégraphe autographique* et d'un *distributeur* (v. *TÉLÉGRAPHIE*). La méthode est basée sur la division du temps. A chaque station les distributeurs, marchant synchroniquement, mettent successivement les appareils (récepteurs ou transmetteurs de 1 à n) en relation avec la ligne, de façon à utiliser complètement cette dernière en la faisant travailler pendant les intervalles qui séparent forcément les signaux d'une même dépêche. En pratique on peut expédier avec le télégraphe Meyer de quatre à six dépêches simultanées.

M. Baudot a imaginé un télégraphe multiple basé également sur l'emploi d'un distributeur (v. *TÉLÉGRA-*

PHIE) comme l'appareil Meyer, mais qui permet d'imprimer les dépêches en caractères usuels au lieu de les imprimer en signaux conventionnels. Ce télégraphe peut envoyer jusqu'à huit dépêches simultanées.

Citons encore, parmi les appareils multiplex à diaphragmes, celui de M. Delany, qui permet de faire jusqu'à trente transmissions simultanées, mais qui imprime les dépêches en caractères Morse. (V. *TÉLÉGRAPHIE*.)

Enfin, un autre système de télégraphie multiple qui a pour type le *système harmonique* de M. Elisha Gray, est basé sur l'emploi des diaphragmes vibrants. Il a été essayé en Amérique en 1875 et 1876 et a fonctionné à l'Exposition de 1878 à Paris. (V. *TÉLÉGRAPHIE*.)

TRANSMISSION TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE SIMULTANÉES. — Action d'envoyer sur une même ligne, en même temps, dans le même sens ou en sens contraire, des courants télégraphiques et des courants téléphoniques et, par suite, d'échanger des dépêches télégraphiques et téléphoniques.

Le problème de l'utilisation des lignes télégraphiques pour la téléphonie a été étudié par plusieurs électriciens ; nous citerons notamment les systèmes de M. Maiche et de M. Van Rysselberghe. (V. *TÉLÉPHONIE A LONGUE DISTANCE, Téléphonie et télégraphie simultanées*.)

TRANSMISSION TÉLÉPHONIQUE SIMULTANÉE.

— Action de transmettre simultanément, dans le même sens ou en sens contraire, plusieurs courants téléphoniques avec un seul fil.

Ce problème n'a pas encore été résolu, mais il est théoriquement possible. M. Maurice Leblanc a indiqué deux solutions : l'une, basée sur l'emploi de diaphragmes dont le nombre de vibrations est assez grand pour ne pas rendre de sons perceptibles et, par conséquent, gênants pour la *TÉLÉPHONIE* ; l'autre, basée sur l'emploi d'un distributeur isochrone analogue à celui dont on se sert pour la *télégraphie multiple* (*Lumière électrique*, t. XX, n° 16, année 1886).

Signalons aussi la méthode suivante, proposée par M. D. Tommasi. Elle repose sur un phénomène physiologique bien connu : l'impression de la perception d'un son par l'oreille alors même que ce son a cessé d'exister. Ce phénomène, analogue à celui observé pour la vision, a reçu le nom de *persistance auditive*, et on a constaté par expérience que le son est perçu pendant $1/32^e$ de seconde après sa cessation. Si donc on s'arrange pour que le plus grand écart existant entre deux émissions successives ne dépasse pas ce laps de temps, on percevra un *son continu*.

Réciproquement, si un auditeur perçoit un son continu, on pourra scinder ce son par une série d'interruptions ne dépassant pas $1/32^e$ de seconde, sans que l'oreille s'en aperçoive. Ceci posé, M. Tommasi intercale dans un circuit téléphonique un *INTERRUPTEUR* produisant une série d'interruptions de courant durant, au maximum, $1/32^e$ de seconde (ce qui ne gêne pas la communication), et il utilise ces interruptions pour établir d'autres communications simultanées. A cet effet, l'interrupteur est disposé de façon que pendant chacune des interruptions il ferme tour à tour le circuit d'autres couples de téléphones reliés à la ligne, le rétablit sur le premier, et ainsi de suite, sans que le contact ait jamais lieu sur deux circuits à la fois. Cette série de fermetures successives étant continue et s'effectuant en un peu moins de $1/32^e$ de seconde, les choses se passent pour chaque poste téléphonique comme si ce poste était lui seul sur la ligne, c'est-à-dire que, pour

aucun d'eux, la communication n'éprouve d'interruption sensible. Pour que les courants successifs qui parcourent la ligne et qui appartiennent tour à tour à chacune des communications en cours passent par le récepteur correspondant, on en d'autres termes pour que celles-ci ne se mélangent pas, un deuxième interrupteur semblable au premier et fonctionnant synchroniquement avec lui est disposé à l'autre bout de la ligne. Chaque appareil occupe donc une extrémité du conducteur à utiliser en commun, et à chacun d'eux viennent se relier les divers correspondants du lieu où il se trouve.

Le système de M. D. Tommasi comporte deux pièces principales :

1^o Un cylindre ébène en ébonite ou en toute autre matière isolante, monté sur un arbre métallique relié d'une manière permanente à l'un des fils de la ligne et tournant dans des coussinets isolés ;

2^o Une barre fixe en ébonite ou en toute autre matière isolante, placée parallèlement à l'axe du cylindre et dont on peut régler l'écartement.

Sur la surface du cylindre sont disposés régulièrement, suivant un seul tour d'hélice, en nombre égal à celui des communications simultanées que l'on veut obtenir, des contacts saillants reliés chacun à l'arbre du cylindre. La barre fixe porte, dans le plan de rotation de chacun de ces contacts et sur la face du cylindre, un talai de forme convenable, communiquant avec une borne placée sur la face opposée. Comme complément de ces organes principaux, une barre métallique fixe porte une deuxième série de bornes correspondant aux précédentes, et est reliée avec le deuxième fil de la ligne. Toutes ces bornes communiquent avec le commutateur du poste où est placé l'appareil. Ceci posé, on comprend que dès que le cylindre sera animé d'un mouvement de rotation sur son axe les divers circuits seront chacun successivement fermés puis ouverts, et que, les distances angulaires étant convenablement mesurées, chaque fermeture ne pourra avoir lieu qu'après l'ouverture du circuit précédent. L'obligation de limiter la durée des interruptions des circuits à $1/32^e$ de seconde conduit à donner au cylindre de l'appareil une vitesse de 32 tours par seconde, soit 1.920 tours ou, pour plus de certitude, 2.000 tours par minute. M. D. Tommasi fait observer que l'on pourra sans doute réduire cette vitesse dans une certaine mesure si, comme il faut peut-être le prévoir, la persistance des vibrations de la membrane ou plaque téléphonique apporte quelque compensation à la brièveté de la persistance auditive. L'expérience peut seule renseigner à cet égard. Il va de soi que l'égalité parfaite de fonctionnement des deux appareils placés aux extrémités de la ligne ne peut être obtenue que par le synchronisme absolu de leur mouvement de rotation. Pour réaliser ce synchronisme, M. D. Tommasi propose d'employer un petit moteur électrique monté sur l'arbre même du cylindre. Le mouvement de ce cylindre serait communiqué à celui du deuxième appareil par l'un ou l'autre des dispositifs connus, ce qui nécessite l'emploi d'une deuxième ligne double, mais en fils télégraphiques ordinaires. La dépense occasionnée par l'emploi de cette ligne auxiliaire en fer, conjointement avec la ligne téléphonique en bronze, serait, d'après l'auteur, négligeable si l'on la compare au bénéfice que l'on retirerait de l'utilisation multiple de la ligne principale.

TRANSPORT DE LA FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ.

— Le transport de la force par l'électricité est une question qui a été étudiée avec beaucoup de soin depuis l'année 1879. Elle intéresse, en effet, non seu-

lement la science, mais aussi l'industrie. Si l'on parvient à résoudre pratiquement ce problème, c'est-à-dire si on parvient à transporter par l'intermédiaire du courant électrique une grande quantité d'énergie à une distance *considérable* et dans des conditions telles que le prix de revient des machines et des conducteurs intermédiaires ne dépasse pas une valeur donnée, on pourra utiliser tout ou partie des forces naturelles. Ces forces, étant aujourd'hui pratiquement inutilisables parce qu'elles se développent dans des régions inaccessibles ou trop éloignées des centres industriels, pourraient, grâce aux nouveaux procédés de transport électrique, fournir à nos usines l'énergie qu'elles empruntent aux combustibles minéraux qui finissent par s'épuiser tôt ou tard.

En 1881, M. Chrétien évaluait à 17.000.000 de chevaux-vapeur la force hydraulique naturelle dissimulée dans toute la France et admettait qu'il était possible d'en utiliser, à l'aide de l'électricité, au moins la dix-septième partie, soit 1.000.000 de chevaux-vapeur ou 6.480.000.000.000 de kilogrammes toutes les vingt-quatre heures.

En raisonnant à un point de vue *général*, on aperçoit immédiatement toute une série d'applications qui ne sont pas moins intéressantes. La possibilité de transporter au loin la force développée par une ou plusieurs machines hydrauliques, en se servant comme véhicule du courant électrique circulant dans un simple conducteur métallique de faible diamètre, permettra de distribuer économiquement et facilement cette force sur les différents points des grands chantiers de travaux publics et de déplacer, suivant les besoins, et très rapidement, les points d'application de ces forces. De même, dans les grands ports de mer, on pourrait actionner, à l'aide de la force fournie par une usine centrale, les grues qui opèrent le chargement et le déchargement des navires, manœuvrer les portes des écluses, etc. Dans les grandes gares de chemins de fer, on pourra également distribuer la force sur toute l'étendue de ces gares et l'employer pour effectuer les manœuvres si variées que comporte aujourd'hui l'exploitation des voies ferrées. Au transport électrique de la force se rattache également la question de la locomotion électrique. Quelques applications ont été faites dans ce sens, mais il y a encore de grands progrès à réaliser.

On comprend donc tout l'intérêt avec lequel le monde scientifique et industriel suit les expériences qui se poursuivent depuis quelques années pour élucider cette importante question du transport de la force à grande distance par l'électricité, et nous croyons devoir entrer ici dans quelques développements.

Toute la question repose sur la propriété que possèdent les MACHINES électro-magnétiques ou magnéto-électriques d'être *réversibles* : étant données deux de ces machines reliées par un fil conducteur d'une longueur quelconque, si l'on fait tourner l'une d'elles on développe un courant électrique qui, circulant dans le fil conducteur, arrive dans l'autre et culant dans le fil conducteur, arrive dans l'autre et détermine son mouvement de rotation. On peut donc recueillir sur l'arbre de la seconde machine tout ou partie de la force employée au départ pour mettre en mouvement la première.

Premières applications des machines dynamo-électriques pour le transport de la force.

— Dans une note publiée en novembre 1887 sur les transmissions électriques, M. H. Fontaine, administrateur de la Société des machines Gramme, rappelle qu'il fit, en 1873, à l'Exposition universelle de Vienne (Autriche) la première

application industrielle du transport de la force par l'électricité. Il actionnait, à l'aide d'un courant dérivé de celui fourni par une machine Gramme grand modèle, une machine Gramme petit modèle réunie à la première par un conducteur en fil de cuivre de plus de 2 kilomètres de longueur. Cette réceptrice commandait une pompe.

L'expérience de Vicque, qui eut un grand succès, fut renouvelée par la Société Gramme, en 1876, à l'Exposition de Philadelphie (États-Unis).

En 1879, MM. Félix et Chrétien firent à Sermaize des expériences qui sont célèbres. Ces messieurs se proposaient de procéder au labourage mécanique d'un champ en utilisant la force d'une machine à vapeur placée à une certaine distance de ce champ.

Voici comment les choses étaient disposées :

Deux machines Gramme ordinaires (type A) à lumière étaient mises en mouvement par une machine à vapeur; elles étaient reliées par un fil de cuivre de 3 millimètres de diamètre à deux autres machines électriques identiques aux premières, placées à 460 et 620 mètres de distance de l'usine. Ces deux réceptrices mises chacune sur un chariot, aux deux extrémités d'un même côté du rectangle à labourer, et successivement animées par le courant des génératrices, tiraient à elle, avec une vitesse de 40 à 50 mètres par minute, une charue Brabant double traçant des sillons de 0^m,30 de largeur et de 0^m,20 de profondeur.

Les savants convoqués à ces expériences avaient reconnu (d'après les rapports publics à cette époque) que le rendement (ou travail) des machines Gramme distantes de 650 mètres était les 80/100 de celui des machines distantes de 400 mètres.

On fit divers essais et on parvint à transmettre, avec les mêmes machines et en employant un conducteur de 10 millimètres carrés de section, le travail de la machine à vapeur de l'usine, à 2 kilomètres de distance.

Enfin, MM. Félix et Chrétien affirmaient que les expériences dynamométriques faites tant à l'usine que sur le terrain avaient montré que les 50 % de la puissance de la machine à vapeur étaient transmis en moyenne à la charrue.

Les mécaniciens attachent une grande importance au rendement. Ils pensent que la solution complète et satisfaisante du problème du transport électrique de la force exige que ce rendement, c'est-à-dire le rapport du travail transmis au travail dépensé, soit aussi élevé que possible.

Les expériences de Sermaize avaient attiré l'attention des spécialistes. Cabanellas et ensuite M. Marcel Deprez s'occupèrent de la question.

Ce dernier s'adonna tout particulièrement à la solution du problème posé, et nous allons donner un résumé de ses travaux.

Théorie de M. Marcel Deprez.—A l'aide de l'électricité on peut produire soit un travail chimique (décomposition d'un sel), soit un travail calorifique (échauffement d'un fil, d'un charbon, etc.), soit un travail mécanique (rotation d'une machine magnéto-électrique).

M. Marcel Deprez dit : « Quelle que soit la nature du travail transporté, il faut produire, pour effectuer ce transport, dans le générateur d'électricité, au départ, une force électromotrice positive qui est en partie annihilée par une force électromotrice de sens contraire, c'est-à-dire négative. »

Avant de reproduire le calcul établi par M. Marcel Deprez pour démontrer l'existence de cette force contre-électromotrice et en calculer la valeur, nous

croions devoir expliquer le rôle de la force contre-électromotrice d'une machine réceptrice.

Pretons pour cela un exemple : soit une machine à vapeur employée à soulever un poids. Si nous supposons que sa distribution soit réglée une fois pour toutes, à chaque tour de roue cette machine admettra le même volume de vapeur et, par suite, elle devra fournir un travail bien déterminé. Il est évident que plus le travail absorbé par l'élevation du poids sera grand pendant l'unité de temps, moins la machine tournera vite, donc moins elle développera de travail pendant l'unité de temps. On peut assimiler l'action de l'effort résistant sur cette machine à vapeur à l'action de la force contre-électromotrice d'une réceptrice sur la génératrice.

Ceci posé, le travail réellement dépensé et le travail négatif produit ont respectivement pour expression : Ei et eI (E et e étant les forces électromotrices positive et négative et I l'intensité du courant).

Le rendement économique K (rapport du travail négatif au travail positif) est, par suite, égal à

$$K = \frac{eI}{Ei} = \frac{e}{E}$$

Enfin le travail utile et le rendement économique restent constants, quelle que soit la distance du transport, pourvu que les forces électromotrices positive et négative varient proportionnellement à \sqrt{R} (R étant la résistance du circuit).

Volet le calcul établi par M. Marcel Deprez pour justifier les lois précédentes dans le cas du transport du travail mécanique. (V. *Lumière électrique*, 3 décembre 1881, et *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.)

Soit un générateur d'électricité produisant un courant électrique ayant une force électromotrice E , que l'on supposera constante.

Ce courant passe dans un conducteur métallique et arrive dans une machine dite réceptrice qui se met à tourner et qui fournit un travail T . Mais en même temps le conducteur s'échauffe, de sorte que le travail de la machine génératrice est égal (en vertu de la loi de la conservation de l'énergie) au travail recueilli sur la machine réceptrice et utilisable, plus au travail employé à échauffer le fil, travail qui, lui, est inutilisable. Ce qui peut s'écrire algébriquement :

$$Ei = T + Ri^2$$

(Joule a démontré, en effet, que la quantité de chaleur Q développée dans un circuit de résistance R par un courant d'intensité i est égal à Ri^2 .)

La loi d'Ohm $i = \frac{E}{R}$ permet donc de calculer l'intensité d'un courant électrique, connaissant la résistance R et la chute du POTENTIEL E de son circuit, tandis que la loi de Joule ($Q = Ri^2$) permet de calculer ce que chaque valeur de courant coûte de travail pour franchir un conducteur quelconque.

L'intensité i dépend de la valeur de T .

Dans le cas où le travail recueilli est nul, on a :

$$Ei = Ri^2 \text{ ou } E = Ri,$$

d'où :

$$i = \frac{E}{R} \text{ (loi d'Ohm).}$$

Cherchons la valeur de i en fonction des autres

quantités et étudions les variations de cette valeur correspondantes à celles de T, on a :

$$Ri^2 - EI + T = 0,$$

d'où :

$$(a) \quad I = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4RT}}{2R}.$$

Pour T = 0

$$I = \frac{2E}{2R} = \frac{E}{R},$$

valeur maximum que peut prendre I dans le circuit donné.

En conservant au radical sa valeur positive, on voit que si T augmente I diminue. La valeur maxima que l'on peut obtenir pour T correspond au cas où

$$E^2 - 4RT = 0,$$

d'où :

$$T = \frac{E^2}{4R}$$

(car si l'on donnait à T une valeur supérieure à $\frac{E^2}{4R}$ I deviendrait imaginaire).

En remplaçant T par cette valeur dans la formule (a) on a :

$$I = \frac{E}{2R},$$

ce qui montre que lorsque le travail recueilli est maximum l'intensité du courant devient la moitié de l'intensité correspondant au cas où le travail est nul.

Entre ces deux valeurs maximum et minimum de I

$$\left(I_0 = \frac{E}{2R} \text{ et } I_M = \frac{E}{R} \right),$$

on peut choisir une valeur intermédiaire qui sera représentée algébriquement par

$$I = I_M - i,$$

en exprimant par i une intensité variable. Posons :

$$i = \frac{e}{R},$$

on en déduira :

$$I = I_M - i = \frac{E}{R} - \frac{e}{R} = \frac{E-e}{R},$$

expression dans laquelle e représente une force électromotrice négative venant diminuer par conséquent la force électromotrice positive E.

Pour calculer la valeur de cette force électromotrice négative e, remplaçons I dans l'équation (a) par sa valeur exprimée en fonction de E et de e. On aura :

$$\frac{E-e}{R} = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4RT}}{2R},$$

$$2(E-e) = E \pm \sqrt{E^2 - 4RT},$$

$$2E - E \mp \sqrt{E^2 - 4RT} = 2e,$$

$$e = \frac{E \mp \sqrt{E^2 - 4RT}}{2}.$$

valeur qui peut se discuter comme celle de I.

TRANSPORT DE LA FORCE

On trouvera ainsi que pour T = 0,

$$e = \frac{2E}{2} = E,$$

et que pour T = $\frac{E^2}{4R}$ (maximum de T),

$$e = \frac{E}{2}.$$

Quant au rendement économique K (rapport du travail utile produit au travail total engendré) il a pour expression :

$$K = \frac{T}{EI},$$

ou, en remplaçant T par sa valeur tirée de l'équation fondamentale $EI = RI^2 + T$:

$$K = \frac{EI - RI^2}{EI} = 1 - \frac{RI^2}{E^2} = 1 - \left(\frac{I}{\frac{E}{R}} \right)^2.$$

Quand on donne au courant son intensité maximum (valeur calculée plus haut $I_M = \frac{E}{R}$) le rendement économique devient :

$$K = 1 - \frac{1}{4}.$$

Mais comme, d'autre part, $I = \frac{E-e}{R}$, on a :

$$K = 1 - \frac{\left(\frac{E-e}{R} \right)^2}{\left(\frac{E}{R} \right)^2} = 1 - 1 + \frac{e}{E} = \frac{e}{E}.$$

Ce qui montre que : « Le rendement économique est égal au rapport de la force électromotrice négative développée dans l'accomplissement du travail utile à la force électromotrice nécessaire pour produire le travail total dépensé. »

On peut maintenant calculer la valeur absolue des travaux produits en fonction du rendement économique, $K = \frac{e}{E}$. On a :

1° Travail total dépensé :

$$\begin{aligned} EI &= E \left(\frac{E-e}{R} \right) = \frac{E^2 - Ee}{R} \\ &= E^2 \left(\frac{1 - \frac{e}{E}}{R} \right) = \frac{E^2}{R} \left(1 - \frac{e}{E} \right) = \frac{E^2}{R} (1 - K). \end{aligned}$$

2° Travail moteur ou travail utile produit T (d'après la formule établie plus haut $K = \frac{T}{EI}$) :

$$\begin{aligned} T &= KEI = \frac{e}{E} \cdot E \cdot \frac{E-e}{R} = \frac{e}{R} (E - e) \\ &= \frac{e}{R} \cdot \frac{E^2}{R} \left(1 - \frac{e}{E} \right) = K (1 - K) \frac{E^2}{R}. \quad (1) \end{aligned}$$

3° Le travail calorifique ou quantité de chaleur développée est (loi de Joule) :

$$\begin{aligned} C = RI^2 &= R \left(\frac{E-e}{R} \right)^2 = \frac{(E-e)^2}{R} = \frac{E^2 - 2Ee + e^2}{R} \\ &= \frac{E^2}{R} \left(1 - 2\frac{e}{E} + \frac{e^2}{E^2} \right) = \frac{E^2}{R} (1 - K)^2. \end{aligned}$$

(1) Cette dernière formule a été établie par M. Maurice Leblanc, inspecteur à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, au meeting des Electriciens, à l'Exposition d'Electricité de Paris en 1881. Voir les comptes rendus du meeting et un article publié par Cabanellas, dans le *Genie civil*.

Si donc on veut que le rendement K reste constant et qu'en même temps le travail récupéré $(K[1-K] \frac{E^2}{R})$ et le travail dépensé $([1-K] \frac{E^2}{R})$ restent également constants quelle que soit la valeur de la résistance R , ou en d'autres termes, quelle que soit la distance du transport du travail, on voit qu'il faut que le terme $\frac{E^2}{R}$ reste constant, c'est-à-dire que la force électromotrice E varie comme la racine carrée (\sqrt{R}) de la résistance R . Mais, d'autre part, puisque K doit rester constant, si E varie il faut que e varie dans le même sens, K étant égal à $\frac{e}{E}$.

En résumé, les lois qui régissent le transport de l'énergie mécanique ont été formulées comme suit par M. Marcel Deprez :

1° Le travail mécanique positif, représentant le travail total dépensé, a pour expression EI pour une intensité donnée I ; ce travail est proportionnel à E .

2° Le travail mécanique négatif a pour expression eI pour une intensité donnée I ; ce travail est proportionnel à e .

3° Le rendement économique est représenté par le rapport $\frac{e}{E}$ des deux forces électromotrices négative et positive.

4° Le travail mécanique utile et le rendement économique restent constants, quelle que soit la distance du transport, pourvu que les forces électromotrices positive et négative E et e varient proportionnellement à la racine carrée de la résistance R du circuit.

Ceci posé, voici l'exemple pris par M. Marcel Deprez pour faire comprendre comment on peut transporter, sans perte, à des distances de plus en plus grandes une quantité fixe de travail.

Soient deux machines dynamo-électriques du type Gramme, par exemple, l'une servant de génératrice, l'autre de réceptrice; connaissant le travail qu'elles absorbent lorsqu'on les emploie à l'éclairage, proposons-nous de les modifier en vue de la transmission d'un travail à travers un conducteur de résistance donnée. Supposons que le CHAMP MAGNÉTIQUE de la machine reste constant. (Les lois qui régissent cette variation lorsque l'intensité du courant et l'enroulement des fils viennent à changer sont encore mal connues.) Cette condition de la constance du champ magnétique est facile à remplir, étant donné que l'intensité de ce champ ne change pas quand le produit du nombre de tours du fil de la bobine des électro-exciteurs par l'intensité du courant reste constant, le volume total du fil des bobines restant le même.

Il est facile de le démontrer théoriquement : soit un conducteur ayant une section de 100 centimètres carrés, dans lequel on fait passer un courant de 100 ampères. Remplaçons ce conducteur de 100 centimètres carrés par cent conducteurs de 1 centimètre carré de section, juxtaposés de manière à occuper le même volume dans l'espace. Si on fait passer un courant de 1 ampère dans ces cent conducteurs supposés accouplés en série une fois le régime permanent établi, la section totale de 100 centimètres carrés sera traversée à chaque instant par 100 ampères. Comme l'expérience démontre que les effets magnétiques d'un courant ne dépendent que de son intensité et non de la valeur du potentiel des divers points du conducteur, l'effet magnétique produit par le courant de 1 ampère dans le second cas sera le même que l'effet produit par le courant de 100 ampères dans le premier cas.

Mais ce résultat n'est qu'approximatif en pratique. En effet, on suppose nulle l'épaisseur de l'isolement

qui doit séparer les cent conducteurs. M. Marcel Deprez, dans les calculs qu'il a faits, a supprimé en partie cette objection en supposant que l'épaisseur de l'isolant était inversement proportionnel à la section du conducteur, condition d'ailleurs très difficile à réaliser en pratique.

Les machines Gramme dont il s'agit, marchant, par exemple, à une vitesse de 1.200 tours par minute, produisent un courant ayant une force électromotrice E de 69,9 volts, une intensité I de 81,22 ampères; elles absorbent par seconde un travail de 579 kilogrammètres et par tour de 29 kilogrammètres; la résistance des inducteurs est de 0,15 ohm et celle de l'anneau de 0,06 ohm.

La modification que M. Deprez proposait de faire subir à la machine consistait à employer pour les inducteurs un fil 50 fois moins gros; il conservait au fil le même volume, par conséquent sa longueur devenait 50 fois plus grande et sa résistance 50×50 ou 2.500 fois plus considérable.

On avait ainsi :

Résistance des inducteurs : $0,15 \times 2.500 = 375$ ohms.

Résistance de l'anneau : $0,06 \times 2.500 = 150$ —

TOTAL..... 525 ohms.

Supposons qu'on place les deux machines ainsi modifiées aux deux extrémités d'un conducteur de fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre et de 50 kilomètres de longueur. La résistance totale du circuit s'évaluera comme suit :

Résistance de la machine génératrice... 525 ohms.

Résistance de la machine réceptrice... 525 —

Résistance du conducteur (50×9)..... 450 —

TOTAL..... 1.500 ohms.

Puisqu'on s'est imposé la condition de ne pas changer la valeur du champ magnétique, il faut (en vertu de cette loi) que : « Le champ magnétique conserve la même valeur, pourvu que le produit du nombre de tours du fil inducteur par l'intensité du courant reste constant » réduire l'intensité du courant au cinquième de sa valeur primitive, soit à :

$$\frac{81,22}{50} = 1,624 \text{ ampère.}$$

Pour produire cette intensité dans le circuit total, il faut développer une force électromotrice dont la valeur est donnée par l'équation $I = E/R$, où :

$$E = 1,624 \times 1.500 = 2.437 \text{ volts.}$$

Dans la machine transformée le fil de l'anneau fait 50 fois plus de tours que dans la machine primitive; si donc on conservait la vitesse de 1.200 tours, la force électromotrice du courant engendré serait 50 fois plus grande que celle du courant fourni par la machine non transformée, c'est-à-dire égale à $69,9 \times 50 = 3.495$ volts. Et comme on n'a besoin que d'une force électromotrice de 2.437 volts, on est amené à réduire la vitesse de la génératrice dans le rapport de 2.437 à 3.495.

La vitesse à donner à la génératrice se trouve ainsi fixée à :

$$1200 \times \frac{2437}{3495} = 835,5 \text{ tours par minute.}$$

Enfin, pour entretenir ce courant d'une force électromotrice de 2.437 volts et d'une intensité de

1,624 ampère, il faudra dépenser une force exprimée en kilogrammètres par : $\frac{Ei}{g}$
ou

$$\frac{2437 \times 1,624}{9,81} = 403 \text{ kilogrammètres par seconde.}$$

Quant à la machine réceptrice (transformée comme la machine génératrice, c'est-à-dire ayant un fil inducteur faisant 50 fois plus de tours que celui de la machine non transformée), elle reçoit un courant d'une intensité 50 fois moindre, les effets mécaniques développés entre les inducteurs et les induits sont les mêmes que dans la machine primitive; la réceptrice développera donc 20 kilogrammètres par tour.

Si l'on veut que la réceptrice développe 10 chevaux-vapeur (750 kilogrammètres), il faudra augmenter sa vitesse dans le rapport de 750 à 29; elle devra faire ainsi $\frac{750}{29} \times 60 = 1,552$ tours par minute.

Mais, lorsque deux machines identiques, fonctionnant l'une comme génératrice, l'autre comme réceptrice, sont traversées par un courant constant, les efforts mécaniques qu'elles exercent et le travail par tour sont égaux, les vitesses seules diffèrent. Si donc on veut que l'intensité du courant reste constante, il faut également que la différence des vitesses reste constante; ce qui conduit à donner à la machine génératrice, dans le cas considéré une vitesse de $833 + 1,552 = 2,387$ tours par minute.

Les effets mécaniques des deux machines (génératrice et réceptrice) étant égaux et indépendants de la vitesse lorsque le courant est constant, la génératrice absorbera par tour $20 \times \frac{2187}{60}$ ou 1,154 kilogrammètres,

soit $1,154 : 75 = 15,4$ chevaux.

Enfin, le rendement économique sera :

$$\frac{1552}{2387} = 0,65.$$

(Les forces électromotrices étant proportionnelles aux nombres de tours.)

Si on veut maintenant connaître l'énergie calorifique développée dans le circuit total, il faudra retrancher du travail total absorbé par la génératrice (1,154 kilogrammètres) celui développé dans la réceptrice (750 kilogrammètres), ce qui donne 404 kilogrammètres.

Ce travail employé à produire de la chaleur, se distribue comme suit dans les différentes parties du circuit.

Travail calorifique absorbé par :

1^o La machine génératrice :

$$\frac{Ri^2}{g} = \frac{525 \times 1,624^2}{9,81} = 441$$

2^o La machine réceptrice :

$$\frac{Ri^2}{g} = \frac{525 \times 1,624^2}{9,81} = 441$$

3^o Le fil extérieur (la ligne).

$$\frac{Ri^2}{g} = \frac{450 \times 1,624^2}{9,81} = 122$$

$$\text{Total égal} = 404$$

Tous ces calculs, présentés par M. Marcel Deprez, à l'Académie des Sciences en 1881, avaient pour but de prouver qu'à l'aide de deux machines Gramme,

type C identiques, on pouvait transmettre un travail utile de 10 chevaux à 50 kilomètres de distance en employant comme conducteur un fil télégraphique ordinaire, et que pour transmettre ce travail il suffisait d'une force motrice initiale de 16 chevaux-vapeur environ.

Mais pour obtenir de bons résultats en pratique, il est absolument nécessaire d'isoler les fils de la génératrice avec beaucoup de soin, étant donné la puissance de la force électromotrice du courant engendré. Cette machine faisant, en effet, 2,400 tours, au lieu de 1,200 tours qui était sa vitesse avant sa transformation, la force électromotrice du courant engendré est de $3,485 \times 2$ ou 6,990 volts, équivalente à celle d'un courant de 6.440 couples de pile Daniell.

Expériences de M. Marcel Deprez.

Passant de la théorie à la pratique, M. Marcel Deprez a installé un transport de force à Munich, en 1882; il a fait ensuite une série d'expériences à Grenoble et à la Compagnie du chemin de fer du Nord. Nous indiquons sommairement les conditions dans lesquelles ces expériences se sont faites et les résultats obtenus.

Expériences de Munich.—En 1882, M. Deprez a fait à l'Exposition de Munich des expériences de transport de force en se servant de deux machines Gramme type A, modifiées suivant son système. La machine génératrice était installée à Miesbach, et la réceptrice à Munich. Les deux machines étaient reliées par une ligne composée d'un double fil (fil d'aller et fil de retour) de fer de 4 millimètres de diamètre et de 60 kilomètres de longueur; aucune précaution spéciale n'avait été prise pour l'isoler. La vitesse de la génératrice était de 2.100 tours par minute, celle de la réceptrice de 1.400 tours; on transportait de Miesbach à Munich 1/2 cheval de force. On accusait un rendement économique de 68 % et on proclama à cette époque que le problème du transport de la force à grande distance par l'électricité était définitivement résolu. Mais ces résultats ont été contestés. M. Cabanellas a démontré que le rendement était, en réalité, à peine de 14 % (Conférence à l'Exposition d'électricité de l'Observatoire, 1885.)

Premières expériences de la Compagnie du chemin de fer du Nord.—En 1883, on fit de nouvelles expériences à la Compagnie du chemin de fer du Nord. On employait comme génératrice une machine ayant une résistance totale de 56 ohms, développant une force électromotrice de 2.700 volts, à la vitesse de 720 tours par minute. Le courant avait une intensité de 14 ampères, le circuit extérieur avait une résistance de 137 ohms. Cette énorme puissance correspond à un travail de 50 chevaux-vapeur concentrés sur deux anneaux de machine Gramme du type

La réceptrice était une machine Gramme du type courant non modifiée; on ne pouvait lui faire développer qu'un travail maximum de 5 chevaux, réduit même à 2 chevaux mesurés au frein.

Les deux machines étaient placées l'une près de l'autre et reliées d'un côté par un fil court et peu résistant, de l'autre par un fil télégraphique de fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre, passant par la station du Bourget et présentant un développement total de 17 kilomètres. L'isolement de la ligne était satisfaisant.

L'Académie des Sciences nomma une commission pour vérifier les résultats obtenus.

Le rapporteur, M. Cornu, constata qu'on avait transporté près de 1,5 chevaux à travers une résistance

effective de 460 ohms représentant une double ligne télégraphique de 8.500 mètres de longueur; que le rendement brut représentait les 37,5 % du travail dépensé et que le rendement dynamométrique dépassait 48 %, lorsque, faisant abstraction des pertes que toute machine motrice absorbe pour son fonctionnement, on s'attachait exclusivement au résultat produit par les transformations successives de l'énergie. Il ajoutait que l'emploi de grandes forces électromotrices présente des difficultés sérieuses; si la résistance du circuit on la vitesse d'une machine vient à varier brusquement, l'intensité du courant acquiert une valeur énorme et la chaleur développée peut alors détruire les isolants et mettre les machines hors de service.

Expériences de Grenoble. — Des expériences ont été répétées à Grenoble dans les mêmes conditions que celles de la gare du Nord avec le même matériel remis à neuf. La distance du transport avait été portée de 8 à 14 kilomètres sans augmentation de la résistance de la ligne faite d'un fil plus conducteur.

Nouvelles expériences de la Compagnie du chemin de fer du Nord. — A la suite de ces divers essais, qui n'avaient pas réussi à convaincre tous les électriciens sur la possibilité de résoudre pratiquement le problème du transport de la force par l'électricité, un syndicat se forma pour fournir à M. Deprez le capital nécessaire pour la construction de nouvelles machines.

Voici le programme qui fut rédigé par les ingénieurs de la Compagnie du Nord et accepté par M. Deprez :

- 1° *Démontrer la possibilité technique du transport sans danger d'une grande force à une grande distance.*

- 2° *Prouver que les appareils pourront fonctionner plusieurs mois, vingt heures par jour, en marche continue ou intermittente, sans aucune détérioration.*

- 3° *Démontrer la possibilité de diviser le courant à son arrivée, dans plusieurs récepteurs chargés de services essentiellement différents, et cela, malgré des variations brusques dans le travail utilisé par chacune d'elles.*

- 4° *Établir des appareils ayant un rendement suffisant sans dépenses exagérées de premier établissement.*

On fixa à 200 chevaux et à 300 chevaux au plus la force disponible au départ pour actionner la génératrice, placée à Creil. Les réceptrices, installées à la gare de La Chapelle, devaient être au nombre de trois; elles devaient actionner : des machines d'éclairage fonctionnant de dix à quatorze heures par jour en consommant de 15 à 20 chevaux; des pompes de manutention hydraulique fonctionnant jusqu'à vingt heures par jour et consommant de 35 à 40 chevaux avec des variations assez grandes de l'effet utile, tempérées cependant par la présence d'accumulateurs Armstrong; enfin, une partie des machines-outils des ateliers de La Chapelle fonctionnant de huit à dix heures par jour et pouvant consommer de 12 à 15 chevaux avec de grandes et brusques variations de l'effet utile.

Les expériences de Creil, impatientement attendues par ceux qui s'intéressent au problème du transport de la force par l'électricité, eurent lieu le 17 octobre 1885. Le 26 du même mois M. Deprez adressa à l'Académie des Sciences une communication où il constatait leur succès.

Voici quelques données sur les conditions dans lesquelles s'est faite l'expérience du 17 octobre; elles s'éloignent, comme on le verra, des conditions imposées par le programme.

La longueur de la ligne télégraphique reliant les deux stations était de 56 kilomètres; la ligne double (aller et retour) avait ainsi 112 kilomètres de long; elle était formée d'un câble en cuivre isolé et protégé par une gaine de plomb, équivalent comme section à un conducteur unique de 0^m,005 de diamètre.

La résistance électrique totale de ce câble était de 100 ohms à la température de 15° centigrades.

La machine génératrice, placée à Creil, avait deux anneaux tournant dans deux champs magnétiques distincts constitués chacun par huit électro-aimants. Chaque anneau avait une résistance de 16,5 ohms et un diamètre extérieur de 0^m,78.

La réceptrice (unique), placée à La Chapelle, avait également deux anneaux de 0^m,58 de diamètre extérieur et offrant une résistance électrique de 18 ohms chacun.

On accusait un travail utile de 46 chevaux développé par la réceptrice avec un rendement industriel de 50 %; la vitesse de la génératrice étant de 170 tours seulement par minute et celle de la réceptrice de 277 tours. La force électromotrice de la génératrice était de 5.700 volts environ.

Les expériences, faites en présence d'académiciens, ont été marquées par plusieurs incidents d'une certaine gravité : des étincelles énormes jaillirent à la génératrice; la ligne fut coupée; des appareils télégraphiques et téléphoniques dont les circuits étaient voisins de la ligne sur laquelle se faisait le transport de la force furent avariés.

Ces expériences ont d'ailleurs été reprises avec un plein succès à partir du mois de janvier 1886, bien que le programme initial n'ait pu être réalisé.

On peut résumer la question du transport électrique de la force à grande distance en disant que l'idée du transport et de la distribution de l'énergie a d'abord été émise par M. Cabanellas, qui, sans s'occuper des détails de construction des machines, a donné le premier un exposé complet des principes pouvant servir de base à un système de transport et de distribution. Que le premier corps de doctrines permettant de concevoir *a priori* une machine pouvant développer une tension déterminée dans des conditions données de puissance, de poids et de vitesse de rotation, est dû à M. Marcel Deprez, qui, chargé de réaliser de grandes expériences de transport, s'il n'a pas créé un nouveau type de machines, puisqu'il emploie des anneaux Gramme, a imaginé une série de dispositifs ingénieux, savoir :

- 1° *Les anneaux seuls sont parcourus par le courant de haute tension,*

- 2° *Pour éviter l'EXTRA-COURANT de rupture, qui est de beaucoup le plus intense, et se dispenser de l'emploi d'un rhéostat, qui serait très coûteux et très encombrant, il débraye sa machine réceptrice. Comme celle-ci est excitée séparément, sous l'influence du courant qui parcourt la ligne, elle se met à tourner de plus en plus vite. La force contre électromotrice que développent ses anneaux augmente donc de plus en plus, ce qui fait diminuer l'intensité du courant de la ligne. Lorsque celle-ci s'est abaissée suffisamment pour que l'extra-courant produit ne soit plus dangereux, un disjoncteur automatique coupe le circuit.*

M. Marcel Deprez a rencontré, au cours de la réalisation de ses expériences, une foule de difficultés secondaires qui l'ont souvent retardé, mais dont finalement il a su venir à bout. Malheureusement, il ne paraît pas que les principes très simples qu'il proposait comme devant servir de bases à l'étude des grandes machines dynamo-électriques soient justifiés. D'après lui, si on construisait une machine géométriquement semblable à une autre machine existante,

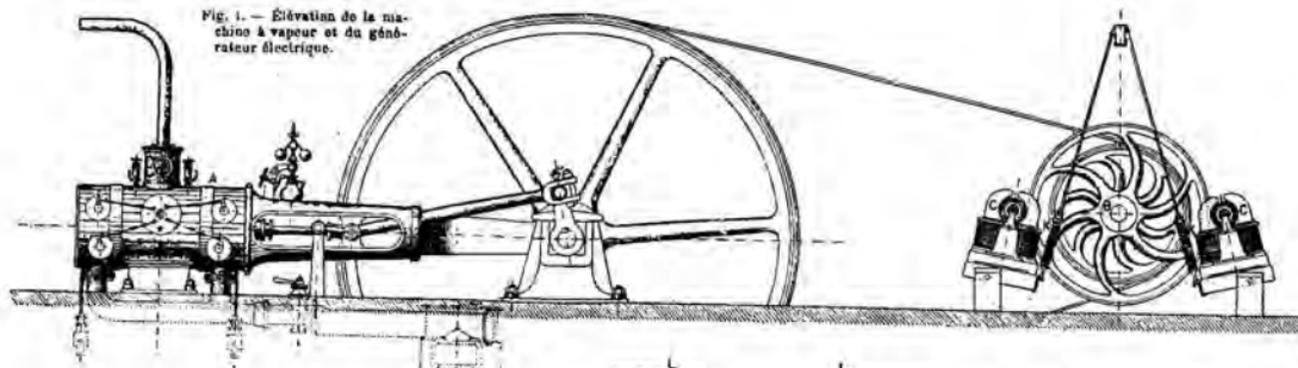


Fig. 1. — Élévation de la machine à vapeur et du générateur électrique.

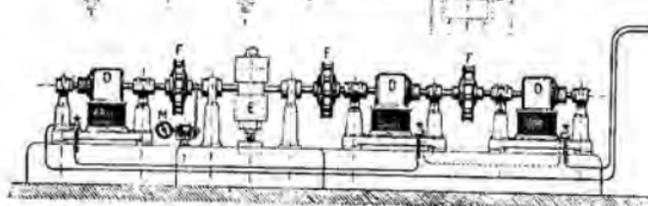


Fig. 3. — Vue en élévation des trois machines Gramme réceptrices.

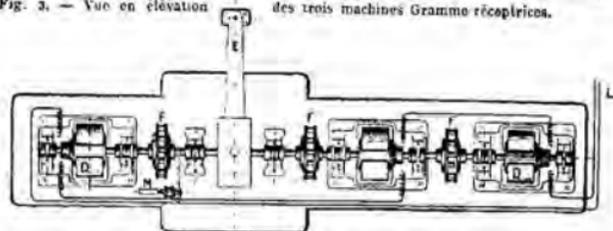


Fig. 4. — Vue en plan des trois machines Gramme réceptrices.

A. Machine à vapeur l'arcot de 60 chevaux nominaux. — B. Rouvoi de mouvement. — C, C, C, C. Machines Gramme génératrices. — D, D, D. Machines Gramme réceptrices. — E. Frein de Prony, contre les poulies du rouvoi. — L. Ligne conductrice. — M. Tachymètre.

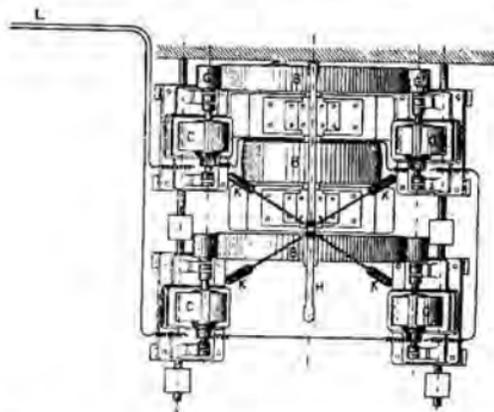


Fig. 2. — Vue en plan des quatre machines Gramme génératrices.

maçonnerie et placés bout à bout (fig. 3 et 4); elles étaient reliées entre elles par des manchons garnis de caoutchouc. Elles occupaient une surface de 7 mètres carrés environ, y compris la transmission qui recevait le frein de Prony. Elles faisaient 1.200 tours par minute.

Les fig. 1 à 4 permettent, d'ailleurs, de se rendre un compte suffisamment exact de tous les détails de cette installation.

Les sept machines Gramme employées à l'essai qui nous occupent étaient du même type; elles pesaient 1.200 kilogrammes. Les quatre du groupe générateur

pesaient donc 4.800 kilogrammes, et les trois du groupe récepteur 3.600 kilogrammes.

L'induit était un anneau Gramme ordinaire de 0,30 de diamètre et de 0,35 de longueur composé de deux cents bobines élémentaires enroulées sur un cercle en fil de fer; sa résistance entre les balais était de 4,75 ohms.

L'inducteur était en forme de mâchoires, sa résistance était de 6,50 ohms; le jeu entre les fils de l'induit et les surfaces polaires était de 0,005.

Voici les résultats des essais faits avec la première machine construite :

DONNÉES DES EXPÉRIENCES.	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.				
	1	2	3	4	5
Nombre de tours par minute.....	310	600	4.030	1.380	1.425
Volts aux bornes.....	324	714	4.344	1.892	1.540
Ampères du circuit.....	9,8	9,8	10,05	10,25	5,15
Puissance électrique produite en kilogrammètres par seconde.....	323	713	1.376	1.975	854
Puissance mécanique absorbée en kilogrammètres par seconde.....	484	693	1.630	2.420	1.124
Rendement industriel.....	67 %	79,8 %	84,4 %	81,0 %	76 %

Les expériences faites sur l'ensemble des machines en interposant une résistance de 100 ohms entre l'appareil générateur et l'appareil récepteur ont donné des résultats peu variables, car on a constamment maintenu l'intensité du courant entre 9 et 40 ampères et la machine à vapeur a conservé presque toujours sa vitesse normale. La puissance constatée au frein

n'a pas dépassé 56 chevaux, et le rendement n'a jamais été inférieur à 50 % ni supérieur à 54 %.

Il est intéressant de comparer la meilleure des expériences du chemin de fer du Nord à celle faite par la Compagnie électrique en présence de M. Poier, ingénieur en chef des mines et professeur à l'École polytechnique :

DONNÉES DES EXPÉRIENCES.	COMPARAISON DES EXPÉRIENCES FAITES	
	au chemin de fer du Nord de Paris à Creil.	par la Compagnie électrique.
Résistance de la ligne.....	97,45 ohms.	99,9 ohms.
Distance du transport.....	56 kilomètres.	57,5 kilomètres.
Différence de potentiel à l'origine de la ligne.....	6.004 volts.	5.896 volts.
Intensité du courant.....	9,85 ampères.	9,34 ampères.
Nombre de tours par minute (génératrices).....	218	1.298
Nombre de tours par minute (réceptrices).....	233	1.120
Puissance mécanique initiale dépensée.....	116 chevaux.	95,88 chevaux.
Puissance recueillie à l'arrivée.....	52 —	50,3 —
Rendement industriel.....	44,81 %.	52,46 %.
Poids des machines génératrices.....	37.000 kilogrammes.	4.800 kilogrammes.
Poids des machines réceptrices.....	23.000 —	3.600 —
Poids des machines génératrices et réceptrices.....	70.000 —	8.400 —

La vitesse des machines Gramme était de 1.200 à 1.300 tours, tandis que celles de M. Marcel Deprez était de 200 à 300 tours. Mais il existe un grand nombre de machines Gramme fonctionnant déjà depuis de longues années à la vitesse de 1.200 à 1.300 tours sans aucun inconvénient. Ce qu'il importe surtout de remarquer, c'est que MM. Gramme et Fontaine ont pu réaliser le transport d'une force de 50 chevaux à 55 kilomètres avec une dépense de 16.430 francs, alors que M. Lévy, dans son rapport sur les expériences de Creil, indiquait la somme de 80.000 francs comme représentant dans l'avenir le coût des machines pouvant produire ce même travail. (Revue industrielle.)

Application du transport électrique de la force à l'alimentation des canaux. — M. Henry a imaginé de faire commander directement divers groupes de pompes rotatives ou à piston par des machines dynamo actionnées par d'autres machines dynamo-électriques placées en un point du parcours du canal où il est possible de créer une usine hydraulique. Ces pompes élèveraient l'eau d'un bief dans le bief supérieur et restitueraient par suite à chaque bief l'eau qui aurait été utilisée pour la navigation par écluses. Ce courant électrique serait conduit par des conducteurs aériens de l'atelier de machines hydrauliques où seraient établies les dynamos

généralices aux diverses écluses où seraient installées les machines dynamos réceptrices.

Règlement pour l'installation des conducteurs affectés à la transmission de la lumière ou du transport de la force. — En septembre 1884, le gouvernement français a institué une commission à l'effet de préparer et de proposer un règlement spécial pour fixer les conditions techniques à remplir, dans l'intérêt de la sécurité publique, pour l'installation des conducteurs affectés à la transmission de la lumière ou du transport de la force.

Le décret réglementant l'installation des conducteurs électriques a été promulgué le 15 mai 1888. Nous en reproduisons le texte.

CHAPITRE PREMIER

De la déclaration préalable à l'établissement des conducteurs électriques.

ARTICLE 1^{er}. — Les conducteurs électriques destinés au transport de la force ou à la production de la lumière ne peuvent être établis qu'après une déclaration adressée deux mois à l'avance au préfet du département ou au préfet de police dans le ressort de sa juridiction. Cette déclaration est enregistrée à sa date; il en est donné récépissé. Elle est communiquée sans délai au chef du service local des Postes et Télégraphes; elle est transmise par ses soins à l'Administration centrale chargée d'assurer l'exécution du décret du 27 décembre 1881.

En cas d'urgence, et en particulier dans le cas d'installation temporaire, le délai de deux mois prévu au paragraphe précédent peut être abrégé par le préfet, sur la proposition du chef du service des Postes et Télégraphes.

ART. 2. — Sont exemptées de la formalité de la déclaration préalable les installations faites à l'intérieur d'une même propriété, lorsque la force électromotrice des générateurs ne dépasse pas 80 volts pour les courants alternatifs et 500 volts pour les courants non alternatifs.

ART. 3. — La déclaration prévue à l'article 1^{er} doit être accompagnée d'un projet détaillé de l'installation indiquant la nature du générateur d'électricité, le maximum de la différence de potentiel aux bornes de la machine, le maximum de l'intensité à distribuer dans chaque branche du circuit, la spécification des conducteurs employés et les précautions prises pour les isoler et les mettre hors de portée du public. Elle est également accompagnée d'un tracé de la ligne et, s'il y a lieu, d'un tracé du dispositif de la distribution; les parties distinctes de la ligne et de la distribution sont désignées par une série régulière de lettres et de numéros d'ordre.

Toute modification d'une installation déclarée donne lieu à une nouvelle déclaration dans les conditions prévues à l'article 1^{er}.

CHAPITRE II

Des règles générales sur l'établissement et l'exploitation des conducteurs électriques.

ART. 4. — Les machines génératrices doivent être placées dans un local où les conducteurs soient bien en vue; elles doivent être convenablement isolées.

Si les courants émis sont de nature à créer des dangers pour les personnes admises dans ce local, les conducteurs sont placés hors de la portée de la main; dans les parties où cette condition ne peut être réali-

sée, ils sont garnis d'enveloppes isolantes. Dans les cas où, à raison de la nature des courants et de l'importance des forces électromotrices obtenues, ces dangers seraient particulièrement graves, il doit être prescrit par le règlement intérieur de l'exploitation, pour les ouvriers de service, des précautions particulières, telles que l'emploi de gants en caoutchouc.

Une affiche, apposée d'une manière très apparente dans la salle des machines, indique les consignes qui doivent être observées par les ouvriers en vue d'assurer leur sécurité.

ART. 5. — L'usage de la terre et l'emploi des conduites d'eau ou de gaz pour compléter le circuit sont interdits.

ART. 6. — Dans chacune des sections du circuit, le diamètre des conducteurs doit être en rapport avec l'intensité des courants transportés, de telle sorte qu'il ne puisse se produire, en aucun point, un échauffement dangereux pour l'isolement des conducteurs ou pour les objets voisins. Les raccords doivent être établis de façon à ne pas introduire dans le circuit des points faibles au point de vue mécanique ou présentant une résistance électrique dangereuse.

ART. 7. — Les fils doivent être suffisamment éloignés des masses conductrices, en particulier des tuyaux d'eau ou de gaz, pour qu'il ne puisse se produire de phénomènes dangereux d'induction.

Les fils employés peuvent être nus ou recouverts d'une enveloppe isolante; dans le cas où les fils sont nus, ils ne doivent jamais être à la portée de la main, même sur les toits.

Aux points d'attache qui, par leur position, présentent quelque danger, les fils doivent être recouverts d'une enveloppe isolante. L'emploi de fils recouverts est également obligatoire toutes les fois que les conducteurs sont posés sur des appuis supportant des communications télégraphiques ou téléphoniques à fil nu. Il en est de même de toutes les parties du tracé où les conducteurs croisent une ligne télégraphique ou téléphonique, ou passent à une distance de moins de 2 mètres d'une de ces lignes, ou enfin passent à une distance de moins de 1 mètre des masses conductrices, telles que tuyaux d'eau ou de gaz.

ART. 8. — A l'intérieur des maisons, les conducteurs sont soumis aux dispositions suivantes: s'ils ne sont pas recouverts d'une enveloppe isolante, ils doivent être placés d'une façon bien apparente, hors de la portée de la main, et posés sur des isolateurs; au passage des toits, planchers, murs et cloisons ou dans le voisinage de masses métalliques, ils sont toujours recouverts; ils doivent, en outre, être encastrés dans une matière dure sur les points où ils sont exposés à des détériorations par le frottement ou toute autre cause destructive. Dans les parties de leur trajet où ils sont invisibles, ils doivent être disposés de façon à être à l'abri de toute détérioration; leur position est repérée exactement.

ART. 9. — Les appareils générateurs d'électricité doivent être munis d'organes permettant de les isoler du réseau général, soit par la mise en court circuit de leur conducteur propre, soit par l'introduction de résistances progressives ou par tout autre procédé agissant promptement. Les machines réceptrices, ou les groupes d'appareils récepteurs, doivent être pourvus d'organes analogues permettant de les séparer rapidement du centre de production.

Au siège des appareils générateurs, un indicateur placé d'une façon très apparente permet de connaître à tout instant la différence de potentiel aux bornes. Lorsqu'un appareil récepteur absorbe plus de 10 chevaux-vapeur, il doit être pourvu d'indicateurs analogues.

ART. 10. — Les lettres et numéros d'ordre prévus au premier paragraphe de l'article 3, sont reproduits sur les diverses parties de la distribution et, en particulier, aux points intéressants, tels que embranchements, commutateurs, instruments de mesure, coupes-circuits, etc.

ART. 11. — Des arrêtés préfectoraux spéciaux pourront prescrire qu'il soit périodiquement procédé, par les soins des exploitants, à des vérifications de l'état des conducteurs et des machines, et que les résultats en soient consignés sur des registres dûment cotés et parafés par l'administration.

CHAPITRE III

De la surveillance administrative des conducteurs électriques.

ART. 12. — En sus des attributions qui leur sont conférées par le titre V du décret du 27 décembre 1851, les ingénieurs et agents des Postes et Télégraphes sont chargés, sous l'autorité des préfets, de la surveillance des conducteurs électriques.

ART. 13. — Ces ingénieurs et agents donnent leur avis sur les déclarations prévues aux articles 1 et 3 du présent décret. Ils assurent de la conformité des installations réalisées et de leur exploitation avec les déclarations déposées à la préfecture.

ART. 14. — Ils s'assurent, au moins une fois par an, et plus souvent lorsqu'ils en reçoivent l'ordre du préfet, si toutes les conditions de sûreté prescrites par le présent règlement sont exactement observées.

ART. 15. — Les registres prévus à l'article 11 ci-dessus sont présentés à toute réquisition aux ingénieurs et agents; ils les reçoivent de leur visa.

Les mêmes ingénieurs et agents peuvent prescrire que des expériences et épreuves de contrôles soient effectuées en leur présence.

ART. 16. — Les contraventions aux dispositions du présent décret seront constatées, poursuivies et réprimées, conformément aux lois.

TRAVAIL. — Le travail est le produit d'une force par le chemin parcouru par son point d'application dans la direction de cette force. On appelle *puissance* le travail par unité de temps; enfin l'*énergie* est la quantité totale de travail dont est susceptible un corps, agent ou système quelconque.

Il est utile de rappeler ici le sens précis donné à ces trois mots : *travail*, *puissance* et *énergie*, car on confond souvent l'expression de « travail » avec celle de « puissance ».

Pour préciser davantage : si on appelle e l'espace, v la vitesse, t le temps, P la puissance et T le travail, il existe entre ces cinq quantités les relations suivantes :

$$e = vt \text{ et } T = Pt.$$

L'unité CGS de travail porte le nom de *erg*. C'est le travail produit par une force de 1 DYNE agissant sur une distance de 1 centimètre. En pratique on fait usage des unités suivantes : centimètre-gramme, grammètre et kilogrammètre. Le *kilogrammètre* est le travail produit par un poids de 1 kilogramme tombant de 1 mètre de hauteur.

Travail électrique. — Le travail W effectué par une quantité Q d'électricité transportée d'un point dont le POTENTIEL est V à un point dont le potentiel est V' est $Q(V - V')$ ou $W = Qe$ en posant $V - V' = e$. C'est le même que celui d'un poids

Q descendant du niveau V au niveau V' ou tombant de la hauteur e .

L'unité pratique de travail électrique s'appelle *JOULE* ou *volt-coulomb*. C'est le travail produit par l'unité pratique de quantité, le *COULOMB*, sous une différence de potentiel égale à une unité pratique de force électromotrice, le *VOLT*.

Un joule est égal à 10 meg-ergs, ou à 1;981 kilogrammètre.

Travail d'un courant. — Un courant traversant un circuit pendant un temps déterminé transporte une certaine quantité d'électricité (un certain nombre de coulombs) du potentiel le plus élevé au potentiel le moins élevé. De ce transport résulte la production d'un *travail* qui, exprimé en kilogrammètres, est égal au nombre de coulombs transportés multiplié par la chute de potentiel et divisé par g .

Le nombre de coulombs transportés par seconde est égal au nombre d'AMPÈRES du courant; la chute de potentiel est égale au nombre de volts sous lequel s'écoule le courant; donc : le *travail par seconde* du courant ou sa *puissance* est : $T = \frac{EI}{9,81}$ kilogram-

mètres par seconds = $\frac{EI}{9,81 \times 75} = \frac{EI}{736}$ chevaux.

Si on se reporte à la définition du mot *PUISSANCE ÉLECTRIQUE*, on verra que l'unité pratique de puissance est le *WATT* ou *VOLT-AMPÈRE* (produit de 1 volt par 1 ampère) et que l'introduction de cette unité dans les formules est fort utile dans la pratique industrielle, car elle donne immédiatement la puissance d'un générateur électrique.

Travail absorbé par un conducteur.

— Un conducteur traversé par un courant s'échauffe et absorbe pendant un temps t une quantité de chaleur $C = I^2 R t$ (loi de Joule), formule dans laquelle I est l'intensité du courant exprimée en ampères, R la résistance exprimée en ohms. Donc, pendant une seconde ce conducteur absorbera un *travail par seconde* ou une *puissance* égale à : $T_2 = I^2 R$. Mais $R = E : I$ (loi d'Ohm); donc : $T_2 = EI^2 : I = EI$. — L'énergie électrique absorbée par seconde est EI *g* ou $I^2 R$; pour avoir la quantité de chaleur par seconde engendrée par le courant dans le conducteur, il faut diviser T_2 par 424 (équivalent mécanique de la chaleur), ce qui donne un nombre de calories : $EI : 9,81 \times 424 = EI : 4160 = I^2 R : 4160$ calories par seconde.

Pour un même nombre de watts fourni à un conducteur de résistance donnée, il est avantageux, quand on le peut, d'augmenter les volts, et de diminuer proportionnellement les ampères, afin de diminuer le travail par seconde absorbé par le conducteur.

Travail électrique total d'une pile

ou d'une dynamo. — C'est le travail utilisable recueilli aux bornes, augmenté des pertes inhérentes à l'appareil lui-même. Le rapport entre le travail utile et le travail total dépensé est le *rendement industriel*; le rapport entre le travail utile et le *rendement électrique* du travail électrique intérieur est le *rendement électrique*. Le rendement électrique est toujours plus grand que le rendement industriel.

Travail électrique des métaux. — (V. SOUDURE).

Travail et énergie électrique. — (Électrolyse). — On a proposé d'évaluer les courants utilisés dans les applications médicales par l'énergie qu'ils représentent, c'est-à-dire par le produit EI . Cela supposerait que les divers effets physiologiques du courant

sont proportionnels à ce produit, ce qui n'est pas généralement vrai. D'autre part, la résistance du corps étant donnée dans chaque cas particulier, on ne peut donner à l'énergie une valeur déterminée qu'en faisant varier la force électromotrice. Le mode d'évaluation proposé se réduit donc à celui, plus ancien et insuffisant, qui consistait à graduer les courants par le nombre des éléments employés. (V. MESSURE.)

TREMblement DE TERRE. — On a émis depuis longtemps l'idée que les tremblements de terre pou-

vaient être occasionnés par l'électricité. On peut invoquer en faveur de l'intervention des causes électriques dans ces phénomènes qu'ils sont toujours accompagnés de perturbations magnétiques, de perturbations atmosphériques, de tempêtes électriques et de manifestations électriques proprement dites. On pourrait citer de nombreuses observations qui prouvent toutes, sans aucun doute, qu'il existe une corrélation entre ces divers phénomènes; nous avons relaté au mot MAGNÉTISME TERRESTRE les intéressantes observations faites à ce sujet en 1887 lors du tremblement de terre

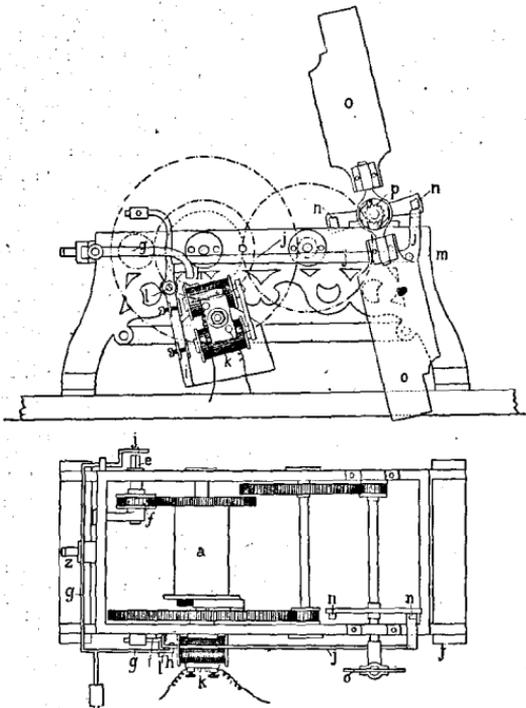


Fig. 1 et 2. — Treuil électrique. (Élévation et plan.)

qui se manifesta avec une grande violence dans le midi de la France, le nord de l'Italie et la Suisse. « Les causes possibles et probables des tremblements de terre, dit M. Planté, sont les attractions exercées par les astres et principalement par la lune sur la masse fluide interne du globe terrestre; les rétractions de la croûte solide, par suite du refroidissement de la lave fondue sous-jacente; les éboulements intérieurs produits par le tassement des couches souterraines; les explosions résultant de la vapeur d'eau développée à une très haute pression par les eaux de la mer arrivant par infiltration au contact des matières du globe en fusion; les mouvements internes de cette même

masse fondue, sous l'influence des brusques variations de pression produites par les grandes perturbations atmosphériques; mais l'électricité peut également intervenir, sinon comme cause générale, du moins comme cause accidentelle ou additionnelle. »

TREMPLEUR ÉLECTRIQUE. — Appareil électrique, en usage dans les chemins de fer, qui sonne tant que le disque est fermé. On le désigne plus ordinairement sous le nom de sonnerie de disque.

TREMPÉ PAR L'ÉLECTRICITÉ. — La Compagnie Sedgwick, à Chicago (Amérique), emploie le courant

électrique pour tremper les ressorts de montre. Ce courant est fourni par une petite DYNAMO; les conducteurs aboutissent à une table où est placée une cuve ordinaire d'huile à tremper. L'un d'eux est relié à une tige qui plonge dans le bain d'huile et l'autre à une tige extérieure. Le fil plat d'acier à tremper est introduit entre les deux extrémités de ces tiges, et dès que les contacts sont établis il s'échauffe uniformément dans toute sa longueur. On apprécie à l'œil, d'après la coloration du métal, le moment où il est prêt à être trempé; on le fait passer alors dans le bain d'huile. Le procédé présente l'avantage de supprimer toute oxydation du métal à l'air; l'échauffement et le trempé s'exécutent à la vitesse de $0,10$ de fil par seconde.

TREUIL ÉLECTRIQUE. — Treuil mù par l'électricité. — En 1883, la Compagnie du chemin de fer du Nord a fait installer à la gare de La Chapelle un treuil de ce genre. Le treuil proprement dit est formé d'un chariot à quatre roues supportant deux DYNAMOS Siemens, que nous désignerons par A et B. L'une de ces machines donne le mouvement d'avant ou d'arrière, tandis que l'autre exécute le mouvement d'ascension ou de descente des fardeaux. Le chariot circule sur un chemin de roulement formé de deux fers double T, situés à $4^m,25$ au-dessus du sol. Une roue dentée, calée sur l'arbre de l'INDUIT de la dynamo B, donne le mouvement à l'aide d'une chaîne Gall, à une roue identique, d'un diamètre plus grand, calée sur l'un des essieux du chariot. On comprend que suivant le sens du courant envoyé dans l'INDUCTEUR de la dynamo B l'induit tournera dans un sens ou dans l'autre, entraînant le chariot. Pour la montée ou la descente des fardeaux, on a terminé par une vis hélicoïdale l'arbre de l'induit de la dynamo A. Cette vis agit sur une roue à noix, autour de laquelle s'engrène une chaîne à mailles. C'est à cette chaîne que sont attachés les fardeaux à manutentionner. Les mouvements d'élevation et de translation ne peuvent se faire simultanément, en raison des différences de résistances électriques que présentent les deux dynamos A et B. Mais on pourrait remédier facilement à cet inconvénient. L'électricité est fournie par une machine Gramme distante des réceptrices par un circuit complet de 600 mètres de câble environ. Cette machine qui fait 1.200 tours donne aux bornes des réceptrices un courant de 23 AMPÈRES et 49 VOLTS. La marche du courant est réglée par un commutateur-inverseur; sous ce commutateur est installée une boîte de résistances.

Nous avons décrit cet appareil parce que c'est l'un des premiers de ce genre qui ait été installé. Depuis, on a fait de nombreuses applications de l'électricité à la manutention des fardeaux.

Nous donnons (fig. 1 et 2, page précédente) la vue en plan et en élévation d'un treuil à déclenchement électrique construit par M. V. Laroche pour manœuvrer à distance les rideaux métalliques qui, dans les théâtres, séparent la scène de la salle. Cet appareil se compose d'un bâti en fonte sur lequel sont installés deux roues et un volant OO pour régulariser la descente du rideau; a est un tambour de treuil sur lequel s'enroule le câble qui supporte le rideau. Contre le bâti se trouve fixé un ÉLECTRO-AIMANT du côté opposé à la manivelle; cet électro reçoit le courant d'une PILE à l'échancré de neuf couples. Le rideau étant relevé, il suffit, pour le faire descendre, d'envoyer le courant dans l'électro; celui-ci attire la pièce f qui pivote en l, et déclenche la détente qui, à son tour, pivote en n, et ce qui permet au petit bras de déclencher l'arrêt et du volant A. Ce moment, le rouage est libre et le treuil

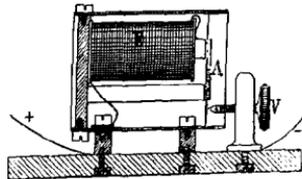
déroule régulièrement. On peut placer dans toutes les parties du théâtre des boutons sur lesquels il suffit d'appuyer pour former le circuit et déclencher le treuil. De petits coffres fermés par une vitre protègent ces boutons contre une manœuvre intempestive.

Trève (Commandant), né en 1838, mort à Paris en 1885. Entré à l'École navale en 1845, capitaine de vaisseau en 1871, il prit part aux campagnes de Crimée, d'Italie, de Chine et de Corée. Il prit une part active à la défense des forts de Châtillon et de Noisy pendant la guerre de 1870-1871, et se signala dans la campagne de Chine sous les ordres de l'amiral Courbet. Le commandant Trève était un savant et s'adonna plus particulièrement à l'étude de l'application de l'électricité à la navigation. Ses mémoires à l'Académie des Sciences et les articles scientifiques qu'il publia dans les revues spéciales attirèrent sur lui l'attention, et, pendant son passage à la direction de l'École des défenses sous-marines de Bocardville, il dota le service des torpilleurs d'importants perfectionnements. Il est mort en décembre 1885, victime d'un accident de voiture.

TRIEUSE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE. — (V. ÉLECTRO-TRIEUSE.)

TROMPETTE ÉLECTRIQUE. — M. Herz a combiné le TÉLÉPHONE Gower de façon à en faire une trompette pouvant se faire entendre fortement dans une vaste salle; dans ce but, il a appliqué de grands condensateurs au circuit téléphonique. On obtient ainsi des effets rapides de charge et de décharge, d'où il résulte la mise en circulation de quantités relativement grandes d'électricité qui agissent fortement sur des récepteurs téléphoniques. (Pour la description de l'appareil, v. *Lumière électrique*, t. VI, page 379.)

M. Zigang a cherché à remplacer les SONNETTES électriques ordinaires par un appareil moins coûteux auquel il a donné le nom de **trompette électrique**.



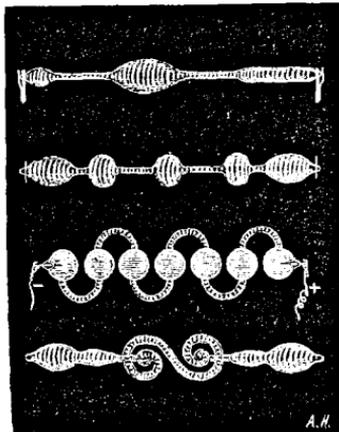
Trompette électrique de M. Zigang.

Cet appareil se compose d'un tube de laiton de $0^m,06$ de longueur et de $0^m,04$ de diamètre, à l'intérieur duquel est un ÉLECTRO-AIMANT BOÎTEUX E; en regard de ses pôles est disposée une plaque-armature A. Une vis de réglage V terminée par une pointe en platine sert d'interrupteur automatique. Lorsqu'un courant passe dans l'appareil, la plaque vibrante émet un son dont on règle la hauteur et l'intensité en tournant la vis V dans un sens ou dans l'autre. Deux couples Leclanché du modèle ordinaire suffisent pour actionner l'instrument.

TUBE DE FORCE. — Canal dont toutes les parois sont de LIGNES DE FORCE. (Les lignes de force sont les lignes suivant laquelle se propage l'action magnétique et qui sont figurées par les dispositions des

limailles dans l'expérience classique des FANTOMES MAGNÉTIQUES.) Un tube ou une ligne de force émanant d'une substance magnétisée et se propageant à travers l'espace jusqu'à la rencontre d'une substance magnétique déjà magnétisée, ou qui le devient par influence. (V. MAGNÉTISME, *Théorie mathématique*, et MACHINE ÉLECTRIQUE [Calcul d'une].)

TUBES DE GEISSLER. — Petits tubes de verre de formes variées contenant une vapeur ou un gaz raréfié et pénétrés par deux fils minces de platine servant d'électrodes. Un faible courant d'induction qui les traverse suffit à illuminer ces tubes dans tous leurs



Tubes de Geissler.

méandres, avec des couleurs et des nuances striées dépendant de la nature et de la densité de leur milieu. (V. GEISSLER.)

Il est intéressant de citer l'emploi que l'on peut faire des tubes de Geissler pour l'observation des mouvements vibratoires en général et de la veine liquide en particulier. Il est bien connu que si l'on illumine un tube de Geissler et qu'à la faveur de cet éclairage intermittent on observe le trembleur de la bobine qui actionne ce tube, ce trembleur paraît absolument immobile, ce qui doit être, puisqu'on ne l'aperçoit à chaque décharge que pendant un temps très court et dans la position rigoureuse qui correspond au moment précis où il abandonne la borne de contact de l'interrupteur. Ce fait a servi à M. Izarn de point de départ pour une méthode d'étude des corps vibrants dans des conditions particulières. Elle s'applique, par exemple, très simplement, à l'observation des vibrations d'un fil disposé suivant le procédé de Melde, c'est-à-dire excité et entretenu dans son mouvement par celui d'un diapason à l'extrémité d'une des branches duquel il est attaché; le moyen le plus commode consiste à la fixer au trembleur lui-même de la bobine qui fournit l'éclairage; son

mouvement étant alors commandé par celui de l'appareil éclairant, on le verra immobile soit dans une de ses positions extrêmes, soit dans les deux, selon qu'il sera tendu suivant le prolongement du trembleur ou dans une direction perpendiculaire. On sait, en effet, que, dans le second cas, le fil vibre comme le diapason, tandis que dans le premier il vibre deux fois moins vite, et le simple aspect du phénomène le démontre. Ces expériences sont fort intéressantes lorsqu'on entre dans le détail de l'observation des nœuds et des ventres, et les passages d'une forme à une autre, par suite de perturbations dans le fonctionnement de l'appareil, sont très curieuses à observer.

Si l'on voulait employer un diapason, il va sans dire qu'on le disposerait de façon qu'il fût entretenu électriquement par le fer doux de la bobine et fonctionnât lui-même comme interrupteur, ce qui ne présente aucune difficulté.

Parmi les diverses applications de cette méthode, il faut citer encore l'étude des vibrations excitées à la surface des liquides, du mercure en particulier, par le procédé de M. Lechat, pourvu, bien entendu, que ce soit toujours, soit le diapason trembleur, soit le trembleur lui-même de la bobine qui serve de marteau excitateur. En observant alors dans cette surface l'image réfléchie d'un large tube de Geissler actionné par cette bobine, on voit les ondes absolument immobiles. Si le vase est elliptique, par exemple, et que le marteau frappe à l'un des foyers, l'effet produit par la réflexion à l'autre foyer est d'une netteté parfaite.

Chacun pourra imaginer d'autres phénomènes susceptibles d'être observés de la même façon. L'auteur en signale, à l'Académie des Sciences, un qui paraît de nature à fournir de précieux renseignements sur la question, encore mal résolue, de la façon dont se produit la discontinuité de la veine liquide. Lorsqu'on observe la veine liquide à l'éclairage d'un tube de Geissler, surtout si le trembleur de la bobine jouit d'une assez grande latitude dans sa vitesse d'oscillation, on voit assez bien la structure par gouttes qui est figurée dans tous les traités de physique, mais la stabilité fait absolument défaut. Si, au contraire, on a le soin d'attacher solidement la bobine au tuyau et au robinet d'écoulement, la vibration du trembleur se communique énergiquement à la veine, qui devient parfaitement régulière et à peu près insensible aux légers bruits ambiants, de telle sorte que, en projetant le jet sur le fond brillant fourni par le tube lumineux, on pourra observer le phénomène tout à loisir et le photographier de même. L'auteur montre la reproduction héliographique d'un cliché obtenu avec une minute de pose. C'est ce qu'on pourrait appeler la *photographie de l'instantané avec longue pose*; à une distance un peu grande de la portion limpide, les gouttes et surtout les gouttelettes ont des mouvements propres qui empêchent d'en obtenir une image nette, mais c'est précisément l'observation des régions supérieures qui présente le plus d'intérêt et qui permettra, peut-être, de saisir très exactement le mécanisme de la transformation en gouttes de cette partie limpide. Quant à l'aspect du tube central indiqué par Savart, et qu'il attribue au passage rapide des gouttelettes devant l'œil, il semble évident, par la seule inspection de la photographie, qu'il est dû à la région brillante que produit la réfraction sur la colonne liquide, qu'elle soit *discontinue* ou non.

UNIPOLAIRE (Machine). — Nom sous lequel on désigne les MACHINES dynamos utilisant les courants d'induction produits par la rotation soit d'un disque de cuivre dans un CHAMP MAGNÉTIQUE, soit d'un cylindre de cuivre autour d'un RÔLE D'AIMANT ou D'ÉLECTRO-AIMANT qu'il enveloppe.

UNIPOLARITÉ. — Phénomène offert par une flamme en communication avec le sol. Si l'on plonge dans cette flamme les deux électrodes d'une pile, on constate une perte de potentiel sur l'une des deux électrodes seulement. Ohm a expliqué ce phénomène par le dépôt de substances isolantes sur l'une ou l'autre des deux électrodes, suivant la nature des flammes.

UNITÉS ABSOLUES. — Tout phénomène naturel revient à faire varier avec le temps l'état de mouvement d'une certaine quantité de matière. La façon la plus philosophique d'évaluer sa grandeur consiste donc à prendre comme unité la grandeur qui déterminerait une variation de vitesse égale à l'unité dans l'état de mouvement d'une quantité de matière égale à l'unité, au bout d'un temps égal à l'unité.

Unités fondamentales.

Si on choisit *a priori* la masse M d'un certain poids de matière pour unité de masse, un longueur déterminée L pour unité de longueur, et un temps T pour unité de temps, l'unité de vitesse sera celle d'un point décrivant l'unité de longueur pendant l'unité de temps.

Ces trois grandeurs L, M, T, prises arbitrairement, formeront trois unités fondamentales à l'aide desquelles on pourra mesurer toute grandeur naturelle, comme nous l'avons dit plus haut.

On est convenu de prendre, dans le système de l'Association Britannique, dit CGS :

- Le centimètre pour unité de longueur;
- La masse du gramme pour unité de masse;
- La durée d'une seconde pour unité de temps.

Unités dérivées.

1° Unités mécaniques.

A. — **Unité de vitesse.** — C'est la vitesse d'un point qui parcourt d'un mouvement uniforme 1 centimètre en une seconde. Si on la représente par le symbole V, on aura :

$$V = \frac{L}{T}.$$

B. — **Unité de force.** — C'est la force qui imprimerait, au bout d'une seconde, à la masse de 1 gramme une variation de vitesse égale à l'unité. Si on la représente par le symbole F, on aura :

$$F = M \frac{L}{T} = \frac{ML}{T^2}.$$

C. — **Unité de travail.** — C'est le travail effectué par

l'unité de force dont le point d'application se déplace de 1 centimètre. Le symbole W, qui le représente, est lié aux unités fondamentales par la relation :

$$W = \frac{ML^2}{T^2}.$$

Remarque : La connaissance des relations :

$$V = \frac{L}{T}, \quad F = \frac{ML}{T^2}, \quad W = \frac{ML^2}{T^2},$$

a une grande utilité.

Supposons, en effet, qu'au lieu d'adopter comme unités fondamentales le centimètre, la masse du gramme et la seconde, on vienne à adopter le mètre, la masse du kilogramme et la seconde, nous pouvons déduire immédiatement de ces relations la connaissance du rapport des nouvelles unités dérivées aux anciennes, l'unité de longueur étant multipliée par 10⁵, celle de masse par 10³.

En désignant par V', F', W' les nouvelles unités de longueur, de force et de travail, on aura :

$$V' = \frac{10^5 L}{T} = 10^5 V.$$

$$F' = \frac{10^3 ML}{T^2} = 10^3 F.$$

$$W' = \frac{10^3 ML^2}{T^2} = 10^3 W.$$

Ce qui permet donc de passer immédiatement d'un système d'unités à un autre, lorsqu'on change les relations fondamentales.

Les symboles $\frac{L}{T}$, $\frac{ML}{T^2}$, $\frac{ML^2}{T^2}$ caractérisent les diverses unités absolues. On leur a donné le nom de *dimensions*.

Nous verrons plus loin comment la connaissance de ces dimensions peut permettre de découvrir des relations imprévues entre les différentes grandeurs que l'on envisage.

2° Unités magnétiques et électriques.

Les grandeurs magnétiques les plus importantes sont :

- 1° La quantité de magnétisme;
- 2° L'intensité du champ magnétique.

De même, parmi les grandeurs électriques les plus importantes, on peut signaler :

- 1° La quantité d'électricité;
- 2° L'intensité du champ électrique;
- 3° Le potentiel ou force électromotrice;
- 4° La capacité;
- 5° L'intensité du courant;
- 6° La résistance d'un conducteur.

« Pour constituer un système absolu, il faut que la quantité qui sert de point de départ puisse être mesurée directement en unité mécanique. Ainsi, on pourra définir la quantité d'électricité par la loi de Coulomb, ou bien la quantité de magnétisme par la loi correspondante, ou encore l'intensité du courant par la loi électro-dynamique d'Ampère. De là trois systèmes de mesures absolues, indépendants et incompatibles, dans lesquels les diverses unités sont liées d'une façon différente aux unités fondamentales, et auxquels on a donné les noms de *système électro-statique*, *système électro-magnétique*, *système électro-dynamique*. » (Mascart et Joubert.)

Bien qu'il n'y ait aucune raison théorique pour préférer l'un de ces systèmes à l'autre, le système électro-magnétique a été adopté en pratique. Voici quelles en sont les principales unités :

3° Principales unités magnétiques et électriques dans le système électro-magnétique.

A. — Quantité de magnétisme. — C'est la quantité de magnétisme qui, agissant sur une quantité égale à elle-même et située à l'unité de distance, exerce sur elle une force répulsive égale à l'unité.

Soient Q cette quantité de magnétisme, f la force exercée, et d la distance des deux masses égales, on aura, d'après la loi de Coulomb :

$$f = \frac{Q^2}{d^2}$$

d'où :

$$Q = d \sqrt{f}$$

d'où l'on tire la dimension de Q :

$$Q = L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$$

B. — Intensité de champ magnétique. — C'est l'intensité H d'un champ qui exercerait sur une masse magnétique égale à l'unité une force égale à l'unité ; on a :

$$H = \frac{f}{Q} = L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$$

4° Comparaison des dimensions des principales unités électriques et magnétiques suivant les systèmes électro-statique et électro-magnétique.

C. — Intensité d'un courant. — C'est l'intensité I d'un courant rectiligne, ayant l'unité de longueur, qui, placé normalement aux lignes de force d'un champ magnétique uniforme égal à l'unité, serait soumis à l'unité de force.

La dimension de cette unité est donc :

$$I = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$$

D. — Quantité d'électricité. — C'est la quantité q d'électricité fournie dans l'unité de temps par un courant d'intensité I . Les dimensions de cette unité sont dès lors :

$$q = L M^{\frac{1}{2}} T^{-\frac{1}{2}}$$

E. — Résistance. — C'est la résistance R d'un conducteur qui, parcouru par un courant égal à l'unité, est le lieu d'un dégagement d'énergie égal à l'unité. Ses dimensions sont :

$$R = \frac{L}{T}$$

F. — Potentiel ou Force électromotrice. — Cette unité E est donnée par la loi d'Ohm : $E = IR$. Elle a pour dimensions :

$$E = IR = L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$$

G. — Capacité. — C'est le rapport de la quantité d'électricité qui charge un condensateur à la différence de potentiel de ses deux armatures. Si on désigne cette unité par la lettre C , on a :

$$C = \frac{Q}{E} = \frac{T^2}{L}$$

On pourrait déterminer de la même manière les dimensions de toutes les unités électriques ou magnétiques, dans l'un des trois systèmes que nous avons envisagés. Nous nous bornerons à donner les dimensions de ces principales unités dans les systèmes électro-statique et électro-magnétique.

	SYSTÈME ÉLECTRO-STATIQUE.	SYSTÈME ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE.
UNITÉS ÉLECTRIQUES.		
Quantité d'électricité	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$
Densité électrique superficielle	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	$L^{-\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}$
Force électrique	$L M^{-\frac{1}{2}} T^{-1}$	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$
Champ électrique	$L^{\frac{1}{2}} M^{-\frac{1}{2}} T^{-1}$	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$
Pouvoir inducteur spécifique		$L^{-2} T^2$
Potential électro-statique	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$
Force électromotrices	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$
Capacité électro-statique	L	$L^{-1} T^2$
Intensité de courant	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Résistance	$L^{-1} T$	$L T^{-1}$

	SYSTÈME ELECTRO-STATIQUE.	SYSTÈME ELECTRO-MAGNÉTIQUE.
UNITÉS MAGNÉTIQUES.		
Quantité de magnétisme.....	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Densité superficielle.....	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	$L^{-\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Force magnétique.....	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Champ magnétique.....	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Potentiel magnétique.....	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Puissance magnétique.....	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Moment magnétique.....	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Intensité d'aimantation.....	$L^{-\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Coefficient d'aimantation.....	$L^{-2} T^{-2}$	1
Perméabilité magnétique.....	$L^{-2} T^{-2}$	1

Relation entre les deux systèmes d'unités.—Pour trouver la relation qui existe entre les unités correspondant à une même grandeur dans chaque système, il suffit de faire le rapport de leurs dimensions, ou encore d'égaliser les expressions numériques d'une même grandeur mesurée avec les deux systèmes.

Désignons par des lettres majuscules les nombres relatifs à des mesures faites avec le système électro-magnétique, et par des lettres minuscules les nombres relatifs aux mesures faites dans l'autre système. Nous aurons, par exemple :

$$\begin{aligned} W &= r'rt = rRt, \\ W &= rit = EIt, \\ W &= q\dot{c} = EQ, \\ W &= e\dot{c} = EC. \end{aligned}$$

On en déduit, en désignant par ϵ , une constante :

$$\epsilon = \sqrt{\frac{R}{r}} = \frac{i}{I} = \frac{E}{E'} = \frac{q}{Q} = \sqrt{\frac{c}{C}},$$

d'où, pour les rapports des unités correspondantes

$$\begin{aligned} \frac{I}{i} &= \frac{e}{E} = \frac{Q}{q} = \epsilon, \\ \frac{r}{R} &= \frac{c}{C} = \epsilon^2. \end{aligned}$$

Or, la dimension de la résistance électro-magnétique est une vitesse $\frac{L}{T}$. Celle de la résistance électro-statique est l'inverse d'une vitesse $\frac{T}{L}$. La dimension du rapport $\frac{r}{R}$, et, par suite, de la quantité ϵ^2 est

donc le carré d'une vitesse. Il en résulte que la constante ϵ est elle-même une vitesse. Un grand nombre d'expériences ont été faites pour déterminer sa valeur, et on a trouvé qu'elle était égale à la vitesse de la lumière. Tout porte à croire que ce résultat n'est pas dû à une coïncidence fortuite, et que cette égalité tient à une corrélation des phénomènes électriques et lumineux.

Conception physique de la vitesse ϵ .—Voici un mode de représentation indiqué par Maxwell, et fondé sur l'hypothèse qu'une masse électrique en mouvement exerce la même action extérieure qu'un courant :

Supposons qu'un plan recouvert d'une couche électrique de densité uniforme ϵ glisse sur lui-même avec une vitesse constante u .

Toute portion de sa surface égale à l'unité peut être considérée comme équivalente à un courant d'intensité ϵu si on exprime celle-ci en unités électro-statique, ou $\frac{\epsilon u}{c}$ si l'on se sert du système électro-magnétique.

Si un autre plan parallèle au premier et distant de lui d'une quantité h est aussi recouvert d'une couche uniforme d'électricité de densité ϵ' et se meut avec une vitesse u' , il s'exercera entre ces deux plans deux espèces d'actions.

1^o Les charges de même signe se repousseront, en vertu de la loi de Coulomb.

2^o Les courants parallèles et de même sens, auxquels ces charges en mouvement sont équivalentes, s'attireront, en vertu de la loi d'Ampère.

« Prenons dans le deuxième plan une bande de longueur l , et de largeur infiniment petite b , et dans le premier plan une bande parallèle indéfinie, de largeur dx , située à une distance x de la projection de la bande bl . L'action électro-magnétique exercée par cette bande sur la première, située à la distance $\sqrt{b^2+x^2}$, a pour valeur :

$$\epsilon \frac{\epsilon u}{c} dx \frac{\epsilon' u' l}{a} \frac{1}{\sqrt{b^2+x^2}} = \pm \frac{\epsilon \epsilon' u u' b l}{a^2} \frac{dx}{\sqrt{b^2+x^2}},$$

et sa composante df suivant la normale aux plans est :

$$df = \pm \frac{\epsilon \epsilon' u u' b l}{a^2} \frac{\lambda dx}{b^2+x^2}.$$

« Pour avoir l'action totale du premier plan mobile sur la portion considérée bl du deuxième, il faut

Intégrer cette expression depuis $x = -\infty$ jusqu'à $x = +\infty$, ce qui donne :

$$f = 2 \frac{\sigma \sigma' u u'}{\epsilon} b l \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx}{\delta^2 + x^2}$$

$$= 2 \frac{\sigma \sigma' u u'}{\epsilon} b l \left[\arctan \frac{x}{\delta} \right]_{-\infty}^{+\infty}$$

ou :

$$f = 2 \frac{\sigma \sigma' u u'}{\epsilon} b l.$$

« D'autre part, la charge électro-statique de cette surface est Me . Comme l'action du premier plan indéfini sur l'unité de masse est égale à $2\pi\epsilon$, la répulsion f' exercée sur cette surface est normale et a pour valeur :

$$f' = 2\pi\epsilon' b l.$$

« Si ces deux actions sont égales, il en sera de même pour toutes les autres portions du deuxième plan, et l'équilibre existera entre eux. Il faut, pour cela, qu'on ait $u u' = \epsilon^2$, ou si les vitesses u et u' sont égales, $u = \epsilon$.

« La constante ϵ est donc la vitesse qu'il faudrait donner à deux plans parallèles indéfinis, uniformément électrisés et se mouvant dans la même direction, pour que leur attraction électro-dynamique soit égale à leur répulsion électro-statique. La vitesse ϵ étant la vitesse de la lumière, l'expérience est irréalisable sous cette forme.

« Pour évaluer l'ordre de grandeur des effets qu'on peut obtenir, remarquons qu'une bande indéfinie de largeur b et de densité σ , mobile dans sa direction avec une vitesse u , équivaut à un courant dont l'intensité électro-magnétique est $\frac{u}{c} \sigma b$. Si on la suppose placée à la distance d d'une autre bande semblable, et qu'on charge le condensateur ainsi formé au potentiel électro-statique V , on aura :

$$\sigma = \frac{V}{4\pi d^2}$$

« Or, on peut obtenir avec des machines électriques des potentiels équivalant à 400.000 couples Daniell, c'est-à-dire environ 10^2 volts ou $10^2 \times 10^9$ unités CGS. Avec de pareilles machines, on aura donc, en unités électro-statiques :

$$V = \frac{10^2 \cdot 10^9}{4} = \frac{10^{11}}{3.10^{10}} = 320,$$

ce qui donne sensiblement $\sigma = 30$.

« Si on suppose $b = 10$ et $\epsilon = 1$, l'intensité électro-magnétique du courant sera :

$$I = \frac{3000}{3.10^{10}} = \frac{1}{10^8} \text{ CGS.}$$

« Comme 1 volt dans un circuit de n ohms donne un courant d'intensité :

$$I' = \frac{1}{10^9} \text{ CGS,}$$

on voit que la vitesse qu'il faudra donner à la bande, pour avoir le même courant, sera :

$$u = \frac{10^7}{n} = \frac{100.000}{n} \text{ mètres.}$$

« Il faut remarquer que le courant I , produit par le mouvement d'un corps électrisé, est beaucoup

plus difficile à constater que celui d'un couple électrique ordinaire, parce qu'il faudra le faire agir directement sur l'aiguille d'un appareil de mesure, et sans multiplication.

« M. Rowland a vérifié, par expérience, que la rotation d'un disque électrisé produit un effet sensible sur une AIGUILLE AIMANTÉE, et que l'action est de même ordre que celle qui serait indiquée par les considérations qui précèdent. » (Mascart et Joubert.)

5° Système d'unités pratiques. — Les valeurs des unités du système CGS, obtenues comme nous l'avons vu plus haut, sont malheureusement bien loin d'être du même ordre de grandeur que les quantités que nous avons à mesurer en pratique. Ainsi, l'unité de force électromotrice ne serait que la cent-millionième partie de la force électromotrice d'un Daniell. Aussi a-t-on choisi pour unités pratiques les multiples suivants des unités absolues :

Unités.	Valeur en unités CGS.
Résistance (ohm).....	10^9
Force électromotrice (volt).....	10^8
Intensité (ampère).....	10^{-1}
Quantité (coulomb).....	10^{-1}
Capacité (farad).....	10^{-9}

Jusqu'ici nous ne nous sommes étendus que sur le choix qu'il convenait de faire de certaines unités de préférence à d'autres. Il a fallu naturellement créer des étalons pouvant servir dans la pratique de termes de comparaison. Or, si l'on possède une pile pouvant développer une force électromotrice constante connue en volts, et une bobine de résistance connue en ohms, on pourra facilement déduire de ces deux appareils d'autres instruments qui permettront de mesurer toute grandeur électrique en unités pratiques de même nature.

Il nous reste à expliquer comment on a pu évaluer pour la première fois :

- 1° La résistance d'une bobine donnée en ohms.
- 2° La force électromotrice d'une pile constante en volts.

Détermination de l'ohm (Méthode de l'Association britannique). — Cette méthode, due à William Thomson, consiste à faire tourner d'un mouvement rapide autour d'un axe vertical un anneau sur lequel est enroulé un conducteur, et à observer la déviation d'un petit barreau aimanté suspendu au centre de l'anneau.

Le courant développé dans l'anneau par le magnétisme terrestre change de sens à chaque demi-révolution ; mais, comme sa situation par rapport à l'aimant varie en même temps, le sens de l'action exercée sur le barreau est constant.

Nous allons calculer la quantité totale d'électricité véhiculée dans l'anneau pendant une demi-révolution.

Soit O la projection horizontale de l'axe de rotation (fig. 1). Les différentes spires de l'anneau se projettent chacune suivant un diamètre tel que II' ou III'' .

Nous supposons que la rotation a lieu dans le sens des flèches et que OM est la projection horizontale du barreau aimanté suspendu au centre de l'anneau.

Considérons la spire de l'anneau qui se projette suivant le diamètre II' . Sa projection fait un angle α avec l'axe des x . Au bout d'un temps d , elle aura tourné d'une quantité $d\alpha$, et sera venue en III'' . La quan-

ité dy d'électricité qui aura été induite dans la spirale pendant ce temps est égale au produit de la différence des projections des deux cercles II' et HH' sur un plan vertical perpendiculaire à la direction des lignes de force du champ magnétique terrestre par l'intensité horizontale A du magnétisme terrestre,

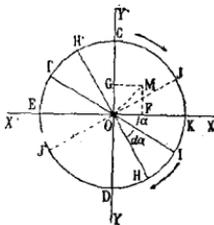


Fig. 1.

divisé par la résistance totale R du conducteur enroulé sur l'anneau.

Si l'on fait coïncider l'axe des x avec la direction des lignes de force du champ magnétique terrestre, on aura, en posant $r = OI$:

$$dq = \frac{\pi r^2 h}{R} [\sin(\alpha + d\alpha) - \sin \alpha]$$

Pendant le temps dt , l'intensité i sera :

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\pi r^2 h}{R dt} [\sin(\alpha + d\alpha) - \sin \alpha]$$

Si l'anneau tourne très vite, l'action de ce courant instantané sur le barreau central est la même que celle que fournirait un courant continu qui se projetterait toujours sur le diamètre II' , mais dont l'intensité I serait égale à $\frac{dQ}{T}$ en désignant par T la durée d'une demi-révolution.

Si μ est l'intensité des deux pôles de l'aimant central, la force exercée sur lui par le courant d'intensité I est normale au plan vertical projeté en II' , et est égale à :

$$OM = \frac{\pi r I \mu}{r^2} = \frac{\pi I \mu}{r}$$

Cette force se décompose en deux autres OP et OQ . Toutes les composantes telles que OP se détruisent deux à deux. Quant aux composantes telles que OQ , on a :

$$OQ = df = \frac{2\pi I \mu}{r} \cos \alpha = \frac{2\pi r \mu h \cos \alpha}{RT} [\sin(\alpha + d\alpha) - \sin \alpha];$$

mais

$$\sin(\alpha + d\alpha) - \sin \alpha = d \sin \alpha,$$

$$df = \frac{2\pi r \mu h}{RT} \cos \alpha d \sin \alpha,$$

d'où :

$$f = \frac{2\pi r \mu h}{RT} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha d \sin \alpha,$$

or,

$$\int \cos \alpha d \sin \alpha = \int \cos^2 \alpha d\alpha = \frac{\alpha + \cos \alpha \sin \alpha}{2}$$

UNITES ANSOLDES

La valeur de cette intégrale prise entre $\frac{\pi}{2}$ et $-\frac{\pi}{2}$ est $\frac{\pi}{2}$; il vient donc :

$$f = \frac{2\pi r \mu h}{RT}$$

L'aiguille qui était d'abord orientée dans le plan du méridien magnétique fera avec cette première direc-

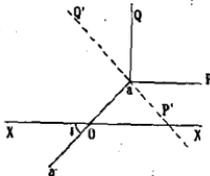


Fig. 2.

tion un angle δ qu'on pourra mesurer en fixant un petit miroir au fil de suspension de l'aimant et en observant la déviation d'un rayon lumineux réfléchi par lui (Fig. 2).

L'action magnétique de la terre produit sur le pôle a une force aP , parallèle au plan du méridien et égale à μh .

La composante de cette force normale à l'aiguille est $\mu h \sin \delta$.

La force f développée par la rotation du cadre est dirigée suivant aQ normalement à la projection horizontale des lignes du champ. Sa composante aQ' normale à l'aiguille sera $f \cos \delta$.

Quand l'aiguille sera en équilibre, on aura donc :

$$f \cos \delta = \mu h \sin \delta,$$

ou

$$\frac{2\pi r \mu h}{RT} \cos \delta = \mu h \sin \delta,$$

d'où :

$$R = \frac{\pi}{1g \delta} \times \frac{r}{T}$$

Si l'on a n tours sur le cadre, le courant induit sera n fois plus grand, et l'action sur l'aiguille sera donc n^2 fois plus grande, puisque le même courant agit n fois; on aura :

$$f = \frac{n^2 \pi r \mu h}{T},$$

et

$$R = \frac{n^2 \pi}{1g \delta} \times \frac{r}{T}$$

Désignons par ω la vitesse angulaire de rotation $\frac{\pi}{T}$ et par L la longueur du fil enroulé; comme on a $L = 2 \pi n r$, il vient :

$$R = \frac{\omega L^2}{4r 1g \delta}$$

On a donc en valeur absolue la résistance R . Cette méthode est remarquable en ce qu'elle n'exige la connaissance ni de l'intensité du magnétisme terrestre, ni celle des pôles du petit barreau.

Des expériences furent faites en 1863 et 1864, à King's College, par Maxwell, Jenkin, Balfour Stewart et Hockin, au moyen de l'appareil représenté plus loin et qui avait été construit par Elliott.

Le conducteur enroulé sur l'anneau était un fil de cuivre de 1,5 millimètre de diamètre et de 302^m,063 de long. Il formait 307 tours.

Une rotation de 408 tours par minute fit dévier l'aiguille de 3° 15'.

En appliquant la formule :

$$R = \frac{u \cdot l}{4\pi \lg \delta}$$

et en faisant :

$$L = 302^m,063 \text{ et } u = \frac{\pi \times R \times 408}{60} = 41,72,$$

$$r = 0,15, \quad \delta = 30,15',$$

on trouve :

$$R = 111.470.000 \text{ unités absolues de résistance } \left(\frac{\text{mètre}}{\text{seconde}} \right).$$

En prenant une unité 10⁷ fois plus grande, on voit que cette unité était représentée par une longueur du fil enroulé égale à :

$$\frac{302^m,063}{111^m,147}$$

En comparant la résistance de l'anneau à celle d'un conducteur étalon, par les procédés galvanométriques ordinaires, on trouva que cette unité correspond à la

résistance d'une colonne de mercure à 0° centigrade, de 1 millimètre carré de section et de 1^m,026 de long.

Nous rappellerons ici que l'ohm légal, déterminé par le Congrès international d'électricité de 1881, a été fixé à la résistance d'une colonne de mercure ayant 1 millimètre carré de section et 1^m,06 de longueur à 0° centigrade.

Appareils employés pour la détermination de l'ohm (Association britannique). — Les fig. 3, 4 et 5 représentent les appareils qui ont servi à la mesure expérimentale de résistance électrique au King's College de Londres (Reports on Electrical Standards, 1873).

L'appareil était divisé en cinq parties : 1° le mécanisme moteur ; 2° la bobine tournante ; 3° le régulateur ; 4° l'échelle et sa lunette servant à lire les déviations de l'aiguille ; 5° la balance électrique à l'aide de laquelle la résistance de la bobine de fil de cuivre a été comparée à un étalon arbitraire de maillechort.

La fig. 3 montre la disposition générale des quatre premières parties. X est un lourd volant monté sur un arbre A qu'on fait tourner à la main et qui communique son mouvement par une courroie *bb*,... à un arbre B sur lequel est montée une poulie qui en-

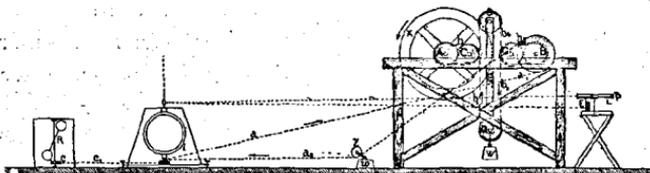


Fig. 3.

traîne la bobine tournante I par une simple courroie *a a*,...

C, C sont deux poulies-guides folles sur des essieux fixés au bâti principal. D, D sont deux autres poulies folles maintenues à une distance constante par la bielle E à laquelle est suspendu le poids W.

Quand une résistance suffisante s'oppose à la rotation de l'arbre B, le volant en tournant dans le sens de la flèche soulève le poids W et tend ainsi à faire tourner l'arbre C avec une force définie qui reste sensiblement constante tant que W ne touche pas terre et que la courroie *bb*,... conserve la même longueur. Quand la résistance augmente avec la vitesse de rotation, on peut régler à la main la vitesse de la roue conductrice, afin d'empêcher le poids de tomber assez bas pour toucher terre, et de monter assez haut pour gêner le mécanisme. Avec un peu de soin on obtient donc une force constante appliquée à l'arbre B et à la machine qu'il conduit.

La bobine tournante I est représentée en élévation et de profil, à plus grande échelle, fig. 4 et 5. C'est la partie la plus importante de l'appareil. III est un fort massif de laiton traversé à sa partie inférieure par trois boulons de laiton F, F, F scellés dans une lourde pierre ; ce massif peut être nivelé par trois grosses vis calantes G, G, G. Sur les anneaux de laiton I, I est enroulé le fil de cuivre isolé ; ces anneaux reposent sur le massif par un pivot J en bois dur et par un support creux K en laiton encastré dans une

sorte de boîte à étoupe K qui, à l'aide de trois vis et d'une rondelle plate faisant ressort, placée entre lui et le massif en J, peut être ajustée de façon à maintenir très soigneusement le collier e qui empêche toute tendance à l'arrêt ou à l'ébranlement.

Dans ces conditions la bobine tourne aisément et avec régularité. La bobine de fil de cuivre est divisée en deux parties enroulées sur les anneaux I et I', afin de laisser le passage de la suspension de l'aimant S. Ces deux anneaux de laiton sont formés chacun de deux moitiés distinctes, isolées l'une de l'autre par de la vulcanite à leurs jonctions en *f, f'*. Cette séparation isolante est nécessaire pour empêcher la production de courants d'induction dans les anneaux de laiton. Le fil de cuivre isolé était enroulé dans le même sens sur les deux anneaux ; l'extrémité inférieure du second était soudée au bout extérieur du premier ; les deux bouts extrêmes du conducteur ainsi formé étaient soudés aux deux bornes extrêmes A, A' isolées par une pièce de vulcanite x fixée sur les anneaux de laiton. Chaque borne était munie d'une forte vis de serrage en cuivre, et pourvue d'une coupe à mercure creusée dans sa surface supérieure. Les deux bobines pouvaient être reliées, de manière à former un circuit fermé, par un barreau de cuivre entre les deux bornes-vis. Le barreau, les borne-vis et les écrous étaient amalgamés afin d'assurer un bon contact.

Lorsque les fils de cuivre étaient réunis à la ba-

lance électrique, on enlevait le barreau court de cuivre, et les communications nécessaires étaient établies à l'aide de tiges courtes de cuivre de 6 millimètres de diamètre plongeant par une de leurs extrémités dans la coupe à mercure des bornes, et par l'autre dans les coupes à mercure de la balance électrique. On vérifiait à diverses reprises, par expérience, l'absence de tout courant induit de nature à influencer l'aiguille suspendu, lorsque le circuit était interrompu en *hh'*.

La rotation était communiquée aux bobines par une corde de boyau faisant un demi-tour sur la gorge de la petite poulie *l*, cette corde pouvait être tendue à volonté par le galet *z* et le poids *w*. Une autre poulie à gorge *r* servait à la courroie *cc*, communiquant le mouvement à un régulateur *R* (v. fig. 3) qui contrôlait la vitesse.

Le compteur, consistant en une vis courbe *n*, d'un grand diamètre, engrenant dans une roue dentée de 100 dents *o*, faisait connaître la vitesse de rotation

de la façon suivante : un taquet *p*, sur la roue *o*, soulevait à chaque passage le ressort *q*; ce ressort, en retombant, frappait un gong *M*. Le coup était répété tous les 400 tours et on observait au chronomètre l'intervalle des coups. L'arrangement se prêtait également à une rotation en sens inverse.

La coupe à la plus grande échelle représentée entre les fig. 4 et 5 montre la façon dont l'aiguille suspendue était introduit au centre de la bobine. *N* est un trépied de laiton fixé sur le massif principal, et supportant un long tube de laiton *O* qui traversait librement le support croix *k*. L'extrémité inférieure du tube *O* porte une boîte cylindrique en bois *P*. C'est dans cette boîte qu'est suspendu l'aiguille. On peut enlever la partie inférieure de la boîte pour vérifier la position exacte de l'aiguille. Sur le support *N* repose aussi un tube court en laiton *R* dans lequel glisse un petit tube portant la cage de verre *T*. Un miroir *l*, attaché à l'aiguille *S* par un fil de laiton rigide, est suspendu dans cette cage par un fil de cocon de 2^e,15 de lon-

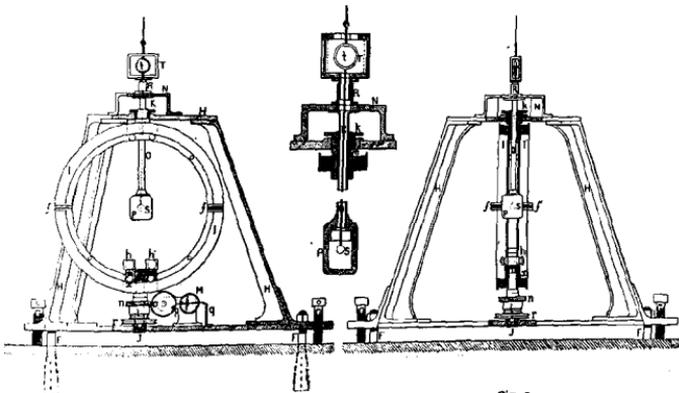


Fig. 4.

Fig. 5.

gueur et protégé contre les courants d'air par une cage de bois (non figurée sur les dessins) descendant depuis le point de suspension jusqu'à la cage de verre. Une petite enveloppe de papier, formant le prolongement de la cage de bois et reposant par le bas sur le massif principal, mettait cette cage sensiblement à l'abri du vent. Une ouverture pratiquée dans la cage permettait de voir le miroir.

Le fil de suspension était fixé par son extrémité supérieure dans une tête de torsion permettant de le faire tourner; on pouvait l'élever ou l'abaisser à l'aide d'un petit treuil, et à l'aide de trois vis de position on ajustait le système dans un plan horizontal.

L'échelle et la lunette servant à lire les déviations de l'aiguille étaient disposées, comme d'habitude, à 3 mètres environ du miroir.

La balance électrique qui servait à comparer la résistance *R* de la bobine tournante *II'* avec la résistance d'un étalon arbitraire de maillechort avant et après chaque expérience de rotation était une modification de la balance ordinaire de Wheatstone ou **POSTE DE WHEATSTONE.** (Extrait du *Traité expérimental d'électricité et de magnétisme* de Gordon.)

UNITÉ SIEMENS. — Unité de résistance proposée autrefois par Pouillet et Jacobi et utilisée ensuite, en 1860, par Siemens. — Elle est représentée par une colonne de mercure de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré de section à la température de 0° centigrade. L'unité Siemens est égale à 0,9536 ohm de l'Association britannique et à 0,9434 ohm légal.

UNITÉ ÉLECTROLYTIQUE. — Unité adoptée pour mesurer l'intensité des courants constants : c'est le quotient de la quantité (*Q*) d'un électrolyte décomposé, par le temps (*t*) que cette opération a exigé.

Jacobi avait pris pour unité d'intensité celle d'un courant continu et constant produisant par minute, dans un voltamètre, 1 centimètre cube de gaz mélangé (oxygène et hydrogène) à la température de 0° centigrade et sous la pression de 760 millimètres de mercure. Cette unité est désignée en Allemagne par le symbole $\frac{D}{U}$ (US, unité Siemens). C'est l'intensité du

courant produit par un couple Daniell sur une résis-

lance totale d'une unité Siemens. Ce courant dépose 1,38 gramme par heure. L'unité Jacobi est égale à 0,0964 AMPÈRE.

En Allemagne on employait autrefois l'unité dite atomique; c'était l'intensité d'un courant qui, traversant un voltamètre pendant vingt-quatre heures ou quatre-vingt-six mille quatre cents secondes, dégageait 1 gramme d'hydrogène. L'unité d'intensité atomique est égale à 1,111 ampère.

On a employé en télégraphie le milli-atome de grandeur comparable au MILLI-AMPÈRE. (Hospitalier.)

URÉE (Synthèse de l')—(Electroth.). Le fait que Drechsel est parvenu à dégager l'urée d'une solution d'urate d'ammoniaque par le passage d'un courant a été considéré comme significatif. Il est vraisemblable que des actions de ce genre peuvent être produites dans l'organisme vivant.

Van Marum (Martin), savant néerlandais, né à Delft vers 1750, mort en 1838. Il commença par étudier les mathématiques, puis son père l'envoya suivre les cours de médecine à Groningue. Reçu docteur, il alla exercer à Harlem et conquit une nombreuse clientèle, qu'il délaissa peu à peu pour s'adonner entièrement à la physique. Nommé secrétaire de la Société des sciences de Harlem, il obtint en même temps la chaire de physique à l'université de cette ville et la direction du cabinet de physique de Taylor. Indépendamment de ses diverses machines, électrique, pneumatique, et d'un gazomètre, on doit à Van Marum : un *Traité d'électricité* (Groningue, 1776, in-8°), deux *Mémoires sur l'électricité*, couronnés en 1781 et 1793 par la Société batave de philosophie expérimentale de Rotterdam, et une *Lettre à M. Volta sur la colonne électrique* (Harlem, 1801).

VARIABLE (État). — (V. ÉTAT ÉLECTRIQUE.)

VARIOMÈTRE. — Nom sous lequel Kohlrausch a désigné un appareil de son invention destiné à mesurer les variations du courant magnétique terrestre. (V. MAGNÉTOMÈTRE.)

Varley (Cromwell Fleetwood), électricien anglais, né en 1824, mort en 1883. Son nom se rattache aux premiers travaux relatifs aux câbles sous-marins. Dès les premières années de la télégraphie électrique, il s'était consacré à l'étude de cette branche de l'électricité appliquée, et avait imaginé une méthode pour déterminer les fautes dans les lignes, qui le fit remarquer des électriciens distingués de l'époque. Il devint bientôt ingénieur en chef et électricien de l'Electric and International Telegraph Company, et conserva ce poste jusqu'au moment où les télégraphes furent repris par le gouvernement. Parmi ces inventions on peut citer une clef à double courant, un relais polarisé, et de nombreux dispositifs relatifs aux câbles sous-marins. C'est lui qui eut l'idée de construire un câble artificiel à l'aide de résistances et de condensateurs, et d'étudier ainsi dans le laboratoire les phénomènes qui se passent dans le câble lui-même. On lui doit également une machine statique dont le principe rappelle le replenisher de Thomson, imaginé plus tard. Cromwell Fleetwood Varley était le frère de Frédéric Varley et de S.-A. Varley, qui a disputé à Wheatstone et Siemens l'honneur d'avoir trouvé le principe de la machine dynamo-électrique.

(Lumière électrique.)

VÉGÉTATION. — Dégagement de l'électricité dans la végétation. — Les végétaux étant constitués par des cellules contenant des fluides différents sont le siège de phénomènes électriques divers d'origine chimique. Ainsi, M. Donné a reconnu des états électriques différents dans les fruits en explorant, avec un électromètre sensible et une aiguille, à la queue et à l'aisselle (*Annales de chimie*

et de physique, t. LVII). Les sèves ascendantes et descendantes réagissent l'une sur l'autre et produisent des effets marqués qui différencient les points de l'écorce et du ligneux. Depuis la moelle jusqu'au cambium, les enveloppes sont de moins en moins positives, tandis que depuis le cambium jusqu'à l'épiderme les couches corticales et parenchymateuses sont de plus en plus positives. (Jacquès.)

Influence de l'électricité sur la végétation. — Des expériences ont été faites à plusieurs reprises pour étudier l'influence que pourrait avoir l'électricité sur la végétation. M. Macagno notamment a fait près de Palermo, d'avril à septembre 1880, des expériences sur l'influence de l'électricité atmosphérique sur la végétation de la vigne, et il a constaté un accroissement de cette végétation; le bois des branches mises en expérience contenait moins de matières minérales et de potasse que celui des autres pleins de vigne, tandis que le contraire eut lieu dans les feuilles où la potasse était surtout sous forme de bicarbonate. Le raisin recueilli fournissait plus de moût et contenait plus de glucose et moins d'acide. Suivant le Dr Schliep, de Berlin, la végétation des plantes serait favorisée par une électricité atmosphérique négative. Les germes végétaux et les microbes flottant dans l'air tendraient à se développer lorsque l'électricité atmosphérique est négative. Nous donnons ces renseignements sous toute réserve et surtout à titre de curiosité.

Influence de la lumière électrique sur la végétation. — (V. ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE, ÉCLAIRAGE DES SERRES.)

VENT ÉLECTRIQUE. — Synonyme de souffle électrique. (V. FRANKLINISATION.)

Verdet (Marcel-Émile), professeur français, né le 13 mars 1854, à Nivez, mort le 3 juin 1886, à Avignon. Il fit des travaux importants, qui ont été publiés sous les titres de : *Mémoires originaux* (Masson, 1878, in-8°), et *Conférences de physique faites à l'École normale* (Masson, in-8°). Il est surtout connu pour ses recherches sur les courants induits d'ordre supérieur, sur l'induction des décharges électriques, sur les propriétés optiques développées par l'action du magnétisme et la polarisation rotatoire magnétique. Il déduisit de ses expériences des lois dont on trouva l'énoncé au mot POLARISATION et qui ont été vérifiées en 1888 par MM. Cornu et Potier. (V. *Journal de physique*, t. IV, page 247. — *Lum. électrique*, t. XX, n° 22, 29 mai 1886.)

VERDET (Constante de). — D'après la loi de Verdet [v. POLARISATION], la rotation du plan de polarisation entre deux points quelconques de la trajectoire d'un rayon lumineux, pour un milieu et une couleur donnés, est proportionnelle à la diffé-

rence du POTENTIEL MAGNÉTIQUE en ces deux points. On appelle constante de Verdet la rotation du plan de polarisation qui, pour la substance considérée, correspond à une différence de potentiel égale à l'unité. Elle a pour valeur le rapport de l'angle de rotation (A) à la différence des potentiels considérés V_1 et V_2 , soit $\frac{V_1 - V_2}{A}$.

Sa valeur en UNITÉS CGS est $4,496 \times 10^{-6}$ dans le cas de la lumière blanche passant à travers de l'eau distillée. (Gordon.)

En mesures absolues, la constante de Verdet, pour une lumière de longueur d'onde donnée et une substance donnée, est une quantité physique fixe et définie ne dépendant que des unités de masse, de longueur et de temps; en désignant la masse par M, la longueur par L et le temps par T, la constante ν a pour valeur :

$$\nu = M^{-1/2} \times L^{-1/2} \times T.$$

VERRE (Coupage du) par l'électricité. — Dans les verreries des environs de Pittsburgh (Pennsylvanie), l'emploi du courant électrique à la coupe du verre a totalement remplacé l'ancienne méthode, laquelle consistait, dans le cas de larges cylindres de verre à vitres, à retirer du four un fillet de verre chauffé à blanc, à déposer vivement celui-ci sur le verre à découper et séparer les deux parties en aidant d'une pince de pliers. Le procédé électrique connu, consistait à envelopper le verre à couper d'un fin conducteur, à chauffer celui-ci au blanc par le passage du courant obtenu au moyen d'une petite batterie et à séparer les deux parties au moyen d'une simple goutte d'eau froide, est employé avantageusement et, contrairement à l'ancien système, est d'autant plus efficace que le verre à couper est plus épais.

VIBRATEUR. — Appareil imaginé par M. Elisha Gray, de Chicago, composé d'une noyau d'induction à deux hélices superposées dont l'interrupteur à trembler est multiple et disposé de manière à produire des vibrations assez nombreuses pour émettre des sons. En plaçant à côté les uns des autres un certain nombre d'interrupteurs de ce genre dont les lames vibrantes sont réglées de manière à fournir les différentes notes de la gamme sur plusieurs octaves, on peut, en mettant en action tels ou tels d'entre eux, exécuter sur cet instrument un morceau de musique dont les tonalités se rapprochent de ceux produits par les instruments à anches. Les interrupteurs étant mis en action par le courant primaire de la bobine d'induction qui circule à travers l'un ou l'autre des **ÉLECTRO-AMANTS** de ces interrupteurs, les courants secondaires qui prennent naissance dans la bobine sous l'influence des courants primaires interrompus peuvent transmettre des vibrations correspondantes à distance sur un récepteur, ce qui constitue un moyen d'appel téléphonique remplaçant la sonnerie habituellement employée à cet usage. M. Sieur, M. Van Rysselberghe, etc., ont imaginé des appareils de ce genre.

Celui de M. Van Rysselberghe, employé pour les appels téléphoniques sur les lignes disposées suivant son système (*V. TÉLÉPHONE A LONGUE DISTANCE*), se compose essentiellement d'une bobine entourant l'extrémité d'un aimant actionnant une plaque vibrante. Sur le centre de cette plaque repose un petit marteau (appelé aussi *jokey*) articulé et muni d'un contrepoids servant à régler sa pression sur la plaque. Le circuit d'une **PILE LOCALE** est fermé en double à travers un **RELAIS** et par l'intermédiaire de la plaque et du marteau. L'électro-aimant du relais

offrant une résistance relativement grande, le courant de la pile se dérive presque en totalité par la plaque et le marteau. Ce relais ne fonctionnera donc qu'à la condition de rompre le contact entre le marteau et la plaque; on obtient ce résultat en envoyant un courant vibratoire dans la bobine qui entoure l'aimant. La plaque se mettant à vibrer, le *jokey* sera animé d'un mouvement de va-et-vient qui interrompra le circuit de la pile locale dans la partie la moins résistante.

VIDE (Résistance électrique du). — La résistance électrique d'un espace semble augmenter considérablement avec la diminution de pression, et il est à peu près impossible de transmettre un courant entre deux électrodes dans un vide absolu. Or, d'après M. Eidlund, le vide parfait est bon conducteur de l'électricité; la résistance d'une colonne gazeuse plus ou moins raréfiée se compose de deux termes: l'un, représentant la résistance proprement dite du gaz, qui diminue avec la pression; l'autre, une résistance au passage dont la surface des électrodes est le siège et qui varie d'après une loi entièrement différente: elle augmente quand la densité du gaz diminue et devient assez grande aux plus faibles pressions que l'on sache réaliser pour avoir pu causer l'*illusion* que le vide est isolant. M. Homén, élève de M. Eidlund, a réalisé des expériences qui confirment la théorie de ce dernier. M. Homén ne s'explique pas sur le siège précis de la résistance aux électrodes qui, d'après M. Goldstein, réside à la surface de l'électrode négative; d'après Hiorff, dans l'auréole lumineuse qui l'entoure; enfin, d'après Viedemann, dans l'espace sombre qui se manifeste aux très basses pressions. (V. *Wied. Ann.*, t. XV, 1882; — t. XXII, 1881. — *Pogg. Ann.*, t. CXXXVI, 1869. — *Wied. Ann.*, t. XX, 1883.)

VIGIE SOUS-MARINE. — MM. Orecchioni et Cavallieri ont imaginé de munir l'avant des navires à grande vitesse (vapeurs postaux ou steamers à passagers) d'une vigie précédant le navire de trois fois sa longueur et indiquant à bord, électriquement, la présence d'un obstacle, soit émergeant, soit immergé. La vigie sous-marine a, comme les torpilles en général, une forme cylindro-conique; sa longueur est de 6^m,50 et sa largeur de 0^m,50; elle est divisée en trois parties inégales: la première, à l'avant, contient un avertisseur de choc dont la tige de contact prolonge le grand axe du bateau sous-marin; la deuxième renferme les machines motrices actionnées du bord électriquement; la troisième contient un appareil hydraulique destiné à commander, par un jeu de leviers, un double gouvernail d'immersion, les points d'introduction des câbles dans la coque, l'hélice et la barre de direction. Pour faire comprendre le mode d'action de leur appareil, les inventeurs ont assimilé le navire à un véhicule qu'un cheval, mené à grandes guides, précéderait à distance, tout en obéissant immédiatement aux pressions combinées du mors transversal et des rênes latérales. Le coursier est ici la torpille; le mors est un balancier fixé à angle droit avec le grand axe de la vigie; les rênes consistent en deux câbles conduisant le courant moteur; enfin la force directrice est l'action complexe du courant qui pousse la torpille, et du balancier qui retient les câbles électrotracteurs et produit des déplacements sur habord ou sur tribord du navire à protéger. Le poids de la torpille est de 900 kilogrammes pour le grand modèle et de 500 kilogrammes seulement pour le petit. Si l'appareil heurte un navire venant en sens contraire, il le signale à temps. Les dispositions électriques ont été étudiées par M. de Merlens et par M. Trouvé.

On trouvera la description détaillée de cet intéressant appareil dans la *Lumière électrique*, t. XXIX, n° 37.

VISCOSITÉ ÉLECTRIQUE. — Nom sous lequel M. Gordon désigne la résistance plus ou moins grande qu'opposent les gaz à se laisser traverser par l'ÉTRICITÉ ÉLECTRIQUE. « L'influence de la nature du gaz sur la longueur de l'Étricité est un phénomène spécial qui ne paraît lié ni à la densité de gaz, ni à sa viscosité mécanique. On peut désigner cette propriété particulière sous le nom de **viscosité électrique**. Le rapport des distances explosives obtenues pour deux gaz mesurent le rapport de leurs viscosités électriques. » (Gordon.)

VISION PAR L'ÉLECTRICITÉ. — Certains inventeurs ont cherché à transmettre électriquement les sensations lumineuses et à reproduire ainsi dans un récepteur les images des personnes ou des objets placés devant l'appareil expéditeur; mais les résultats obtenus jusqu'à présent sont peu encourageants. (V. TÉLÉPHOTE; TÉLÉPHOTOGRAPHIE.)

VITESSE DE L'ÉLECTRICITÉ. — On a cherché expérimentalement à déterminer la vitesse avec laquelle l'électricité se propage dans les corps conducteurs. Le problème peut être posé de deux façons différentes :

1° A quelle distance, dans un conducteur donné, l'action électrique se propage-t-elle pendant l'unité de temps ?

2° A quelle distance, pendant l'unité de temps, l'état permanent est-il atteint ?

Ce qui constitue deux questions distinctes. Or, dans la plupart des recherches faites, on s'est contenté de déterminer après combien de temps un phénomène donné se produisait à l'extrémité d'un conducteur de longueur connue, sans pouvoir affirmer que la production du phénomène correspondait à la première manifestation électrique ou à l'établissement de l'état permanent. Dans le cas où il s'agissait de l'électricité statique, on étudiait la production d'une ÉTRICITÉ ÉLECTRIQUE; dans le cas de l'électricité DYNAMIQUE, on observait la déviation du GALVANOMÈTRE.

C'est Wheatstone qui, le premier, a donné des résultats présentant quelque précision : il étudiait le flux d'électricité qui circulait dans un fil réunissant deux corps électrisés à des POTENTIELS différents entre lesquels l'équilibre électrique se rétablissait. Il mettait les deux armatures d'un CONDENSATEUR en communication avec un circuit de 800 mètres de long, présentant trois solutions de continuité disposées à côté l'une de l'autre. L'une des extrémités du fil étant en communication avec l'une des armatures du condensateur, il approchait l'autre extrémité du fil de la deuxième armature, et il jaillissait trois étincelles aux points où le conducteur était interrompu. À l'aide d'un miroir tournant, il pouvait mettre en évidence la différence entre les instants auxquels elles se produisaient. On évalua la différence de temps à

$\frac{1}{1452000}$ de seconde pour une distance de 400 mètres, ce qui donne 463.000 kilomètres en une seconde. MM. Fizeau et Gouelle ont étudié la vitesse de propagation d'un courant à travers un fil conducteur avec l'aide d'une méthode dont le principe rappelle celui que M. Fizeau a appliqué à la détermination de la vitesse de la lumière. Dans ces expériences, le fil sur lequel on opérait était un conducteur télégraphique de 314 kilomètres de longueur.

Voici les chiffres obtenus par différents procédés et dans des conditions différentes par plusieurs expérimentateurs :

VISCOSITÉ ÉLECTRIQUE — VITESSE

Vitesse de propagation dans un fil de cuivre, 460.000 kilomètres par seconde (Wheatstone);

Vitesse de propagation dans un fil de fer, 400.000 kilomètres par seconde (Fizeau et Gouelle);

Vitesse de propagation dans un fil de cuivre, 480.000 kilomètres par seconde (Guillemain et Barnouf).

Kirchhoff a admis, à la suite de considérations théoriques, que l'on peut, en moyenne, attribuer à l'électricité une vitesse égale à celle de la propagation lumineuse, soit 308.000 kilomètres ou 77.000 lieues par seconde.

VITESSE de transmission de l'électricité sur les câbles. — Les lois qui régissent la vitesse de transmission de l'électricité sur les câbles sont formulées comme suit :

1° La vitesse de propagation des ondes électriques à travers des câbles de même longueur varie en raison inverse du produit de la CAPACITÉ INDUCTIVE par la RÉSISTANCE du conducteur.

2° Si deux câbles sont de longueurs différentes, mais semblables à tous autres égards, les vitesses de transmission dans ces câbles sont inversement proportionnelles aux carrés de leurs longueurs respectives. On résume ces deux lois par la formule :

$$V = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

(V vitesse; l longueur du câble en knots [le knot, mot anglais qui signifie « nœud », est une mesure de longueur dont on se sert dans la télégraphie sous-marine et qui vaut 1852^m]; C capacité du câble en MICROFARADS par knot.)

3° Si les deux câbles, de même longueur, composés des mêmes matières, ont des conducteurs de diamètres d et d' et des enveloppes isolantes de diamètres D et D', le rapport des vitesses est donné par la formule :

$$\frac{V}{V'} = \frac{d^2 \log \frac{D}{d}}{d'^2 \log \frac{D'}{d'}}$$

4° Si les deux câbles ont non seulement des diamètres différents pour leurs conducteurs et leurs enveloppes isolantes, mais aussi des longueurs différentes l et l', on a :

$$\frac{V}{V'} = \frac{d^2 l \times \log \frac{D}{d}}{d'^2 l' \times \log \frac{D'}{d'}}$$

Formule de Latimer Clark pour calculer la vitesse de transmission :

$$V = \frac{d^2}{\sqrt{L}} (\text{Log. } D - \text{log. } d)$$

Vitesse absolue en nombre de mots par minute avec l'appareil à miroir :

Câble en caoutchouc Hooper,

$$1.193,5 \times \frac{d^2}{\sqrt{L}} (\text{Log. } D - \text{log. } d);$$

Câble en gutta-percha de W. Smith,

$$968,75 \times \frac{d^2}{\sqrt{L}} (\text{Log. } D - \text{log. } d);$$

Câble en gutta-percha ordinaire,

$$903,65 \times \frac{d^2}{\sqrt{L}} (\text{Log. } D - \text{log. } d).$$

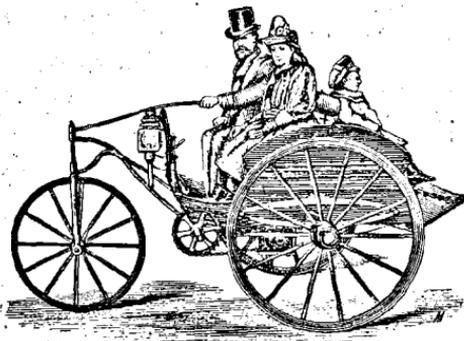
Le maximum obtenu est de 50 % supérieur aux chiffres calculés par les formules ci-dessus.

VITRÉE (Électricité). — Fluide qu'on développe en frottant le verre avec une étoffe de laine. On l'appelle aussi électricité positive.

VOITURE ÉLECTRIQUE. — Les progrès réalisés depuis quelques années par les ACCUMULATEURS et les MOTEURS électriques au point de vue de la légèreté, de la puissance et du rendement permettent de construire de petits véhicules sur routes. En effet, les accumulateurs peuvent emmagasiner une certaine somme d'énergie qu'on rend disponible par la simple manœuvre d'un COMMUTEUR, et les moteurs électriques présentent la précieuse propriété de produire, entre certaines limites, une puissance d'autant plus grande qu'ils tournent moins vite. On peut ainsi franchir les rampes sans trop diminuer de vitesse et descendre les pentes sans trop emballer dangereusement. M. Magnus Volk, directeur de la *Brighton Electric Railway*, a fait, en 1888, des expériences sur un dog-

cart construit par MM. Park de Brighton; nous reproduisons la vue de ce véhicule, d'après le journal *Engineer*. Il est actionné par un moteur Immisch, type de 0,5 cheval-vapeur, alimenté par une batterie de seize accumulateurs de l'Electrical Power Storage Company, placée sous le siège et pouvant assurer une marche de six heures à débit normal. Le moteur pèse 18 kilogrammes. La transmission du mouvement du moteur à grande vitesse à la roue motrice s'opère à l'aide de deux chaînes en acier et d'un arbre intermédiaire. Il résulte des expériences faites par M. Volk que sur l'asphalte l'effort de traction est moindre que sur un rail à rainure tel que ceux des tramways. On a obtenu sur l'asphalte une vitesse de marche de 17 kilomètres à l'heure; sur le macadam la vitesse n'était que de 7,5 kilomètres par heure. La voiture, chargée de deux personnes, circulait sur des rampes de 0^m,033 par mètre.

MM. Immisch et C^o ont construit, en Angleterre,



Voiture électrique.

un dog-cart électrique à quatre roues et à quatre places qui pèse 550 kilogrammes environ et qui peut fournir une course de cinq heures à une vitesse de 16 kilomètres à l'heure. Dans l'intérieur de cette voiture se trouvent vingt-quatre accumulateurs d'un type spécial pesant au total 350 kilogrammes, qui actionnent un moteur Immisch de 1 cheval-vapeur placé sur le véhicule. Ce moteur donne le mouvement à l'une des roues d'arrière par l'intermédiaire d'une chaîne Gall, les vitesses étant dans le rapport de 1 à 18. En pleine vitesse le moteur absorbe les 3/4 d'un cheval, tourne à 1.440 tours par minute et prend 20 AMPÈRES et 48 VOLTS. Le commutateur de mise en marche et d'arrêt est pourvu de trois résistances graduées permettant d'effectuer le démarrage sans secousse.

VOLT. — Unité pratique électrique de force électromotrice. (V. FORCES ÉLECTROMOTRICES ET UNITÉS ÉLECTRIQUES.)

Volta (Alexandre), illustre physicien italien, né à Côme (Milanois) le 18 février 1745, mort dans la même ville le 6 mars 1827. Il était déjà à dix-huit ans en correspondance avec l'abbé Nollet sur toutes les questions importantes de la physique. A vingt-quatre ans, il tenta de donner une théorie de la nouvelle des Leyde; mais ce premier essai ne contient que des

idées systématiques, souvent peu justes, dont la science n'a tiré aucun profit. Un second mémoire, donné par lui en 1771, produisit une impression plus profonde et valut au jeune physicien la place de régent de l'École royale de Côme et bientôt après celle de professeur de physique. Dans ce second mémoire, Volta étudiait les différentes manières de produire les phénomènes électriques par pression, par percussion, etc., et essayait de déterminer dans chaque cas le genre d'électricité développée sur le corps soumis à l'expérience. Peu de temps après, il imagina l'ÉLECTROPHORE et le CONDENSATEUR. En 1776 et 1777, des recherches sur la nature et la composition du gaz inflammable des marais suggèrent successivement à Volta l'idée de l'ÉTUNOMÈTRE; celle de la lampe perpétuelle à gaz hydrogène; enfin, celle du PISTOLET ÉLECTRIQUE.

Jusqu'alors, Volta n'était pas sorti de sa ville natale. En 1777, il visita Haller à Berne, de Saussure à Genève, Voltaire à Ferney, et apporta la pomme de terre à ses compatriotes. La relation que Volta a écrite de ce voyage scientifique a été imprimée en 1827. Une chaire de physique ayant été créée en 1779 à l'École de Pavie, il fut appelé à la remplir et il l'a occupée avec éclat jusqu'en 1819. De 1780 à 1782, il visita la France, l'Allemagne, la Hollande et l'Angleterre, pour y lier des relations scientifiques avec La-

voisier et Laplace, Lichtenberg, Van Marum, Priestley, et rassembla les éléments du cabinet de physique de l'École où il venait d'être appelé.

De 1785 à 1787, Volta s'occupa d'expériences sur l'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE. Il avait déjà imaginé son ÉLECTROMÈTRE à piles sèches, dont l'écart mesure à peu près exactement l'intensité électrique de la source; il conçut l'idée heureuse d'augmenter la puissance de la tige dont s'était servi Saussure pour tirer l'électricité de l'air environnant, en terminant cette tige par une moche enflammée. Le succès de cette expérience lui avait donné l'idée de PARATONNERRES à flammes, qui n'ont pas été expérimentés en grand.

Nous arrivons maintenant à la découverte de la pile voltaïque. On sait que l'origine de cette merveilleuse découverte se trouve dans la singulière observation, qui se présenta fortuitement à Galvani, des mouvements excités dans les membres d'une grenouille dépourvue par l'interposition d'un arc métallique entre deux parties différentes du tronc. Galvani avait eu remarquer que l'effet obtenu était plus considérable lorsque l'arc métallique réunissait un muscle et un nerf. Là-dessus il avait imaginé que les muscles et les nerfs, chargés d'électricité contraire, formaient comme les deux ARMATURES d'une bouteille de Leyde, et que l'arc jouait le rôle d'excitateur. Volta, en variant les expériences de plusieurs manières, en vint de son côté à se persuader que la commotion était produite par l'accouplement de deux métaux différents dans l'arc employé pour former le circuit, que c'était dans ce contact de deux métaux que se trouvait la source de l'électricité produite, et que la grenouille servait simplement de conducteur. Il est certain que le phénomène se présente avec des caractères plus tranchés dans les circonstances indiquées par Volta; mais il réussit toujours plus ou moins dans toutes les autres, c'est-à-dire quel que soit l'arc métallique, simple ou composé, et quelles que soient les parties de la grenouille que cet arc touche par ses extrémités. On ne savait, du reste, pas encore s'il se dégageait véritablement de l'électricité dans ces expériences. Les galvanistes, à la recherche de découvertes physiologiques, continuèrent de varier ces expériences et de les étendre aux débris de tous les animaux récemment morts; quant à Volta, se retirant sur le terrain ferme de la pure physique, il marcha pas à pas à la découverte de sa pile. Il remarqua d'abord que, lorsqu'on place la langue entre deux rondelles métalliques de natures différentes, se touchant à l'extérieur, on ressent une saveur alcaline ou acide, selon l'ordre dans lequel les deux métaux sont placés. Cette remarque venait confirmer l'hypothèse qui s'était déjà présentée à lui; pour la mettre hors de doute, il imagina de mettre en contact deux larges disques de cuivre et de zinc, tenus à l'aide de manches isolants, et, après les avoir séparés, de le présenter l'un après l'autre à l'électromètre condensateur. Les deux disques se trouvèrent sensiblement chargés d'électricités contraires, le zinc portant l'électricité positive et le cuivre l'électricité négative. En renouvelant plusieurs fois le contact, Volta parvint à charger une bouteille de Leyde. C'était déjà un grand pas de fait. Volta franchit le dernier en 1800, et ce qu'il y a de particulièrement remarquable dans cette longue série de recherches qu'il venait de parcourir, c'est qu'il avait été théoriquement amené de l'une à l'autre par d'humbles inductions fondées sur des analogies heureusement comprises. C'est, au reste, le caractère général de toutes les découvertes de Volta, qu'aucune d'elles n'est due au hasard, et que ses plus savantes combinaisons étaient faites pour ainsi dire à

coup sûr.

La découverte de la pile, bientôt suivie de celle des nombreux effets physiques et chimiques qu'on en obtient, excita l'admiration de toute l'Europe. Bonaparte appela l'auteur à Paris en 1801, pour répéter ses expériences devant l'Institut, et il voulut y assister lui-même. Il proposa de décerner une médaille en or à l'illustre physicien, ce qui fut voté par acclamation, ajouta 5,000 francs au nom du gouvernement et fonda un prix de 60,000 francs en faveur de celui qui ferait faire à la science un nouveau pas comparable à ceux qu'on devait à Franklin et à Volta; il nomma, en outre, celui-ci comte et sénateur du royaume d'Italie. Depuis lors, Napoléon ne cessa de s'intéresser à l'illustre savant, « Je ne saurais consentir, dit-il en 1804, à la retraite de Volta; si les fonctions de professeur le fatiguent, il fut les réduire. Qu'il n'ait, si l'on veut, une leçon à faire par an; mais l'université de Pavie serait frappée au cœur le jour où j'apercevrais qu'un nom aussi illustre se dégraderait de la liste de ses membres. D'ailleurs, un bon général doit mourir au champ d'honneur. » Toutes les Académies d'Europe tinrent à honneur de s'associer l'heureux professeur de Pavie.

Postérieurement à 1800, Volta ne donna plus que deux mémoires, l'un en 1806 sur le *Phénomène de la grille*, l'autre en 1817 sur la *Périodicité des orages et le froid qui les accompagne*. A partir de 1819, il cessa à peu près toute relation avec le monde savant. Une légère attaque d'apoplexie vint le surprendre en 1823 et donna de graves inquiétudes. Une fièvre l'enleva en quelques jours, en 1827. Il s'était retiré depuis huit ans dans sa ville natale. Comme écrivain ses obsèques avec la plus grande pompe, et toute l'Italie s'associa au deuil du Milanais. Un beau monument lui a été élevé près du village de Canneggio, dont sa famille était originaire.

Toutes ses découvertes ont été exposées par lui, avec non moins de clarté que de simplicité, dans des *Lettres et des Mémoires*, qu'avec une trop grande modestie il n'a pas même pensé à recueillir en une seule édition. C'est à un Toscan, amateur éclairé de ces études, le chevalier Vincent Antinori, que le public est redevable de la *Collezione delle opere del cav. conte Alessandro Volta* (1816, 5 vol. in-8). Il faudrait, pour compléter l'œuvre d'Alexandre Volta, joindre aux cinq volumes donnés en 1816 par Vincent Antinori : un poème latin sur les principaux phénomènes de la physique et de la chimie, la vocation de l'auteur aux recherches sur l'électricité y pare dans plus d'un endroit; un petit poème italien sur le voyage fait par de Saussure au mont Blanc, et plusieurs autres pièces de vers; des observations et expériences sur les vapeurs, ouvrage resté inédit; de nombreux articles de physique et de chimie, disséminés dans différents recueils périodiques d'Italie, de France, d'Angleterre et de Suisse.

VOLTA (Prix). — Le prix Volta a été institué le 26 prairial an X. Le premier Consul, assistant à une séance de l'Institut dans laquelle Volta lut un mémoire sur la pile électrique, eut l'idée qu'il serait glorieux pour la France d'ouvrir un concours auquel seraient appelés les savants de tous les pays et de récompenser par un prix exceptionnel « le travail le plus remarquable sur cette partie de la physique qui plus mériterait le chemin des grandes découvertes ». Il paraissait le chemin des grandes découvertes. Il dépassait en conséquence qu'il serait donné un encouragement de 60,000 francs à celui qui, par des expériences et des découvertes, ferait faire à l'électricité un pas comparable à celui qu'on fait faire à cette science Franklin et Volta, et ce au jugement de la classe des sciences mathématiques et physiques de

l'Institut. Cette classe, pour répondre aux intentions du premier Consul et donner à ce concours toute la solennité qu'exigeaient l'importance de l'objet, la nature du prix et le caractère de celui qui l'avait fondé, décida que le grand prix serait donné à celui dont les découvertes formeront dans l'histoire de l'électricité et du galvanisme une époque mémorable.

Le concours fut ouvert de nouveau, à diverses reprises, par les décrets des 23 février 1832, 13 mai 1835, 29 novembre 1871, 11 juin 1882, 13 avril 1886, et la valeur du prix en a été fixée à 50.000 francs.

Le prix Volta a été accordé trois fois depuis sa fondation : en premier lieu à Ruhmkorff, en 1864; à M. Graham Bell, inventeur du téléphone, en 1876; et enfin à M. Gramme, inventeur de la machine qui porte son nom. L'arrêté ministériel du 10 novembre 1882 relatif au concours, qui devait être fermé le 31 juillet 1887, disposait que le prix serait décerné à l'auteur « de la découverte qui rendra l'électricité propre à intervenir avec économie dans l'une des applications suivantes : comme source de chaleur, de lumière, d'action chimique, de puissance mécanique, de moyen de transport pour les dépêches ou de traitement pour les malades ». Comme nous l'avons dit plus haut, la commission, s'inspirant des motifs qui ont dirigé cette initiative généreuse du gouvernement, a décerné le prix Volta à M. Gramme pour les progrès qu'il a apportés à la construction des machines dynamo-électriques.

VOLTA-ÉLECTROMÈTRE. — Nom donné anciennement au VOLTAMÈTRE.

VOLTAGE. — Expression employée quelquefois pour désigner le nombre de VOLTS nécessaires au fonctionnement d'une lampe à INCANDESCENCE.

VOLTAGOMÈTRE. — Nom donné à une espèce de RHÉOSTAT à mercure inventé par Jacobi.

VOLTAÏQUE. — Se dit de la PILE de Volta et, en général, de l'électricité développée par les piles.

VOLTAÏQUES (Alternatives). — (*Électrothér.*) Manœuvre qui consiste à renverser brusquement la polarité des ÉLECTRODES au moyen de l'INVERSEUR. On peut les répéter. L'excitation qui en résulte est beaucoup plus grande que celle produite par de simples interruptions. Toutefois, les raisons de cette différence, qui sont à la fois physiques et physiologiques, n'ont pas encore été données d'une façon suffisante.

VOLTAÏSATION. — Traitement électrique. (V. ÉLECTRICITÉ MÉDICALE, Galvanisation.)

VOLTAÏSME. — Électricité développée par la PILE de Volta ou par des actions chimiques analogues à celles qui se produisent dans cette pile.

VOLTAMÈTRE. — Appareil destiné à mesurer l'INTENSITÉ des courants au moyen des actions électrolytiques, dont la loi a été donnée par Faraday ($Q = IT$) (V. lois électrolytiques). On sait, en effet, qu'une même quantité d'électricité traversant un ÉLECTROLYTE en décompose toujours la même quantité; il en résulte que les mesures de QUANTITÉ et d'INTENSITÉ fondées sur l'emploi du voltamètre sont absolues.

Un courant dégageant n milligrammes d'hydrogène par seconde est, par suite, entièrement défini, et pour en déterminer l'intensité il suffit de savoir qu'un courant de 1 AMPÈRE décompose par seconde

0,03456 milligramme d'eau, c'est-à-dire met en liberté 0,010384 milligramme d'hydrogène, puisque l'eau renferme $1/9$ d'hydrogène en poids.

Or, un courant étant la quantité d'électricité fournie pendant une seconde par un courant d'intensité de 1 ampère, le coulomb dégage 0,010384 milligramme d'hydrogène.

Si nous désignons par E l'équivalent chimique d'un corps par rapport à l'hydrogène, la quantité Z de ce corps libérée par 1 coulomb sera :

$$Z = 0,010384 E,$$

et le nombre Z sera, par définition, l'ÉQUIVALENT ÉLECTRO-CHEMIQUE du corps.

Un courant d'intensité I (en ampères) déposera par seconde MI;

$$D'où : MI = 0,010384 EI.$$

Cette formule permet de calculer le poids d'un corps donné déposé par un courant d'intensité connue pendant une seconde;

et, réciproquement, de calculer l'intensité d'un courant, connaissant le poids d'un corps donné déposé dans un temps donné, et l'équivalent chimique E de ce corps.

Par exemple, supposons que l'on cherche l'intensité I d'un courant qui a déposé 45 grammes de cuivre en 10 minutes : l'équivalent chimique du cuivre étant 31,75, 1 coulomb en dépose $0,010384 \times 31,75 = 0,32948$ milligramme. Par conséquent, 45 grammes (soit 45.000 milligrammes) seront déposés par 45.000 : 0,32948 = 45.526 coulombs. Or, ces 45.526 coulombs ont été fournis en 10 minutes ou 600 secondes; donc le courant avait une intensité de $45.526 : 600 = 75,87$ ampères.

On distingue deux genres de voltamètres : les voltamètres à gaz ou à volume; et les voltamètres à solutions de sels métalliques ou à poids.

Voltamètre à gaz ou à volume. — Le voltamètre à gaz se compose essentiellement d'un récipient dans lequel aboutissent deux ÉLECTRODES en platine; au-dessus de ces électrodes on place deux épongevutes graduées remplies d'eau acidulée par de l'acide sulfurique ou phosphorique. (V. la figure et la description du voltamètre ordinaire au mot ÉLECTROLYSE.)

Le modèle représenté fig. 1 a été décrit par plusieurs revues scientifiques et notamment par le journal *l'Électricité*. Il est assez commode pour l'établissement des AMPÈRÈTRES.

Il se compose d'un tube en U, dont l'une des branches est graduée et contient les électrodes, con-

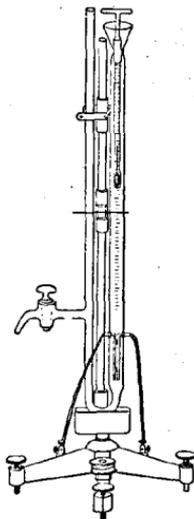


fig. 1.

assistant en deux feuilles de platine de $0^m,013$ de longueur, distantes de $0^m,002$ à $0^m,003$. Les fils conducteurs, en platine également, sont fixés dans les parois et soudés à des conducteurs de cuivre qui aboutissent à des bornes placées sur le pied de l'appareil. La partie supérieure de ce tube gradué se termine par un entonnoir et est fermée par un bouchon de verre rodé portant à sa partie inférieure un thermomètre gradué de 0° à 30° . On peut lire le $1/2$ degré. La seconde branche du tube en U porte un robinet, ainsi que le montre la figure. Ce tube est supporté par un pied muni de vis calames et une règle mobile glissant le long du support central permet d'établir avec exactitude les deux colonnes liquides au même niveau à la fin de l'opération. Ceci posé, voici comment on se sert de l'appareil : on verse dans le tube de gauche (après avoir enlevé le bouchon de la branche de droite) une solution d'acide sulfurique d'une densité de 1,140. Lorsque le tube gradué est plein, on remplace le bouchon et on vide le tout ou une partie du tube gauche au moyen du robinet. On fait passer le courant dont on veut mesurer l'intensité. Lorsque le gaz cesse de se dégager, on rétablit le niveau des deux colonnes liquides, on note les indications du thermomètre et du baromètre, et le volume du gaz dégagé. Le tube étant gradué jusqu'à 64 centimètres cubes, une division correspond à $1/5$ de centimètre cube, et à l'aide de la règle graduée on peut estimer le $1/10$ de centimètre.

La réduction du volume à 0° et à 760 millimètres de pression se fait à l'aide de la formule :

$$V' = V \frac{273(t - 0,88f)}{(293 + t)760}$$

dans laquelle h est la pression barométrique, f la tension de la vapeur d'eau à la température t (température observée), et $0,88 f$ la tension de la vapeur de la solution employée.

La quantité totale d'électricité est donnée en coulombs par le rapport de V à 0,17393 (d'après Kohlrausch, un ampère-seconde ou un coulomb correspond à 0,17393 centimètre cube de gaz détonant à 0° et 760 millimètres de pression). L'intensité du courant est donnée par le rapport du nombre de coulombs au nombre de secondes.

M. Berlin et M. A. Minnet ont modifié l'un et l'autre les voltammètres à volume pour en faire des instruments réellement pratiques; nous les décrivons brièvement.

Voltamètre Bertin. — La partie essentielle de cet appareil est une éprouvette graduée qui, à sa partie supérieure, communique par un étranglement capillaire avec une ampoule munie d'un tube de verre auquel on peut adapter un tube de caoutchouc. Ce dernier tube sert à aspirer l'eau acidulée contenue dans le vase inférieur, où se trouvent deux électrodes en platine en relation avec deux bornes d'aménée de courant.

L'électrode négative, sur laquelle se dégage l'hydrogène, pénètre à la partie inférieure de l'éprouvette graduée, qui se remplit directement de gaz, mais sans qu'aucune bulle puisse monter dans l'ampoule. Le tube capillaire possède, en effet, la double propriété de barrer le chemin au gaz, pourvu qu'il y ait un léger excès de liquide dans l'ampoule, et de permettre de remplir l'éprouvette de liquide par aspiration.

Un manchon cylindrique en verre entoure l'éprouvette ; on le remplit d'eau, qui sert à refroidir le gaz et à en déterminer exactement la température. Un interrupteur à manette, situé entre l'une des bornes

VOLTAMÈTRE

de prise de courant et le voltamètre, permet d'ouvrir ou de fermer le circuit.

On lit sur l'éprouvette le volume V de l'hydrogène; mais il faut faire les corrections d'usage pour en déduire son poids, et, par suite, l'intensité du courant. Appelons :

- P le poids de l'hydrogène;
- H la pression atmosphérique;
- t la température;
- f la tension de la vapeur saturante à la température t ;
- α le coefficient de dilatation du verre.

$$P = V \times 1,293 \times 0,069 \times \frac{H - f}{760} \times \frac{1}{1 + \alpha t}$$

Voltamètre A. Minnet. — Cet instrument est plus complet et plus exact que le précédent. Il est formé de deux parties principales (fig. 2) : à droite et à la

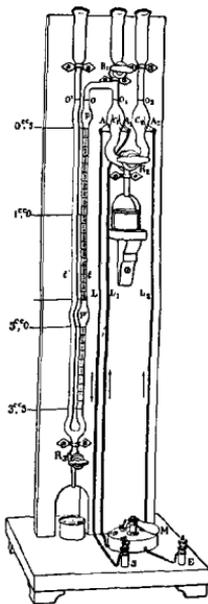


Fig. 2.

partie supérieure sont deux chambres de réaction C_1 et C_2 pouvant être mises en communication entre elles et isolées l'une de l'autre au moyen d'un robinet à trois voies R_3 ; à gauche, deux tubes L , L' communiquent entre eux ; le tube L est gradué et relié à la chambre C_1 par le tube abducteur O_1 de très faible capacité. Le robinet R_2 étant tourné de manière à faire communiquer les deux chambres C_1 et C_2 et le robinet R_1 étant ouvert, on verse l'électrolyte par le

tube à entonnoir placé au-dessus de la chambre C₂, jusqu'à ce qu'il atteigne le niveau indiqué par les traits O₁ O₂. Par l'entonnoir placé au-dessus de O₁, on remplit alors d'un liquide quelconque les tubes L, L' jusqu'au niveau O'O, en maintenant le robinet R₁ ouvert et le robinet R₂ fermé; ce dernier a pour fonction principale d'amener exactement le liquide mesureur aux niveaux indiqués. Au commencement de l'expérience les liquides doivent se trouver aux niveaux O', O₁, O₂. La chambre de réaction C₂ ne contient qu'une électrode, et la chambre C₁ en contient deux. Cette disposition permet de recueillir soit l'hydrogène seul lorsque le courant arrive par l'électrode A₂ et sort par A₁, soit le mélange détonant lorsque le courant arrive par l'électrode A₁ et sort par l'électrode A. Un commutateur M placé au bas de l'appareil permet d'effectuer ces diverses combinaisons.

M. A. Minet emploie comme liquide mesureur de l'eau saturée d'hydrogène et d'oxygène à la température du laboratoire, et comme électrolyte une solution à 1 % d'acide sulfurique ou une solution à 5 % d'acide phosphorique. D'après les expériences faites par M. Minet avec beaucoup de soin, on peut déterminer avec son voltamètre des intensités variant de 0,001 à 0,5 ampère, avec une approximation égale aux 5/1000 de la grandeur mesurée.

Voltamètre à solution de sels métalliques ou à poids. — Le voltamètre à solution de sels métalliques (on prend généralement une solution de sulfate de cuivre ou une solution de nitrate d'argent) se compose d'une cuve électrolytique dans laquelle plongent deux lames de même métal que celui du sel (cuivre ou argent).

On mesure le volume de gaz dégagé par le passage du courant pendant t secondes ou on pèse le dépôt métallique, suivant le genre de voltamètre employé, et on calcule la quantité d'électricité Q (en coulombs), qui a traversé le voltamètre; on en déduit la valeur de l'intensité I du courant de la formule: $I = \frac{Q}{t}$ en ampères.

Comme les voltamètres à volume suffisamment exacts sont d'invention récente, c'est au moyen de voltamètres à poids, à sels d'argent, que MM. Mascart, Kohlrausch, lord Rayleigh, Roscoe, G.-B. Prescott, etc., ont déterminé les équivalents électrochimiques. M. Edison a construit des compteurs d'électricité basés sur le même principe; mais il se sert de sels de cuivre ou de zinc.

Emploi du voltamètre pour la mesure des courants alternatifs. — On a admis pendant longtemps qu'un courant alternatif traversant un voltamètre ne provoquait aucune formation de gaz, l'hydrogène et l'oxygène dégagés successivement à chaque pôle se recombinaient immédiatement. Mais il résulte des recherches intéressantes de MM. Maneuvrier et Chapuis, complétées par les observations de MM. Ayrton et Perry, que lorsque la densité de courant par unité de surface des électrodes atteint une certaine valeur on obtient un dégagement de gaz sur chacune d'elles; ce gaz est un mélange d'oxygène et d'hydrogène non combinés, et la quantité produite est fonction de la densité du courant et du nombre d'alternances par secondes. M. Kennelly, reprenant ces recherches, a trouvé que dans certaines conditions la quantité de gaz dégagée par le passage du courant alternatif est égale à celle que produit un courant continu d'égale intensité, et il a construit un voltamètre pouvant mesurer ces deux espèces de courants. Il s'est

servi d'une machine Siemens de 100 volts donnant 196 alternances par seconde. Le courant passait dans un voltamètre formé de six paires de fils de platine de 0^m,0178 de diamètre, soigneusement isolés les uns des autres et dont la longueur variait pour chaque paire. Ils plongeaient dans de l'eau acidulée à l'acide sulfurique d'une densité de 1,065 à 1^{re}. Ces couples d'électrodes pouvaient être groupés d'une manière quelconque au moyen d'un commutateur, et ils étaient surmontés d'une éprouvette graduée servant à recueillir le gaz. (*Lumière électrique*, t. XXX, n° 44.)

VOLTMÈTRE. — (*Électrothérapie*). — (V. TABLE.)

VOLTAMPÈRE ou Watt. — Unité pratique de puissance électrique. — Puissance due à l'unité pratique d'intensité du courant (AMPÈRE) sous une différence de POTENTIEL égale à une unité pratique de force électromotrice (VOLT).

VOLTAMPÈREMÈTRE ou Mesureur d'énergie. — Appareils indiquant la quantité d'énergie électrique dépensée dans un temps donné.

Cette quantité d'énergie est exprimée par la formule $\int E I dt$ (E différence de potentiel aux bornes de l'appareil qui utilise le courant, I intensité de circulation). [V. COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ.]

VOLTASCOPE. — Appareil proposé par Faraday pour reconnaître le passage de l'électricité, fondé sur la décomposition facile de l'iodure de potassium par le passage du courant et la production d'une tache bleue foncée au pôle positif.

VOLT-COULOMB ou Joule. — Unité pratique de TRAVAIL. C'est le travail produit par 1 COULOMB sous une différence de POTENTIEL de 1 VOLT.

$$\text{Joule} = 10 \text{ meg-ergs} = \frac{QD}{g} \text{ kilogrammètres,}$$

Q étant la QUANTITÉ d'électricité exprimée en COULOMBS, E la différence de potentiel exprimée en volts, et g le nombre 9,81.

VOLTMÈTRE. — On appelle voltmètres des appareils étalonnés servant à mesurer la force électromotrice ou la chute de potentiel entre deux points. Les voltmètres sont des GALVANOMÈTRES disposés d'une façon spéciale. Il faut connaître la fonction qui relie les intensités des courants à mesurer aux déviations de l'instrument, et ce dernier doit avoir une résistance assez grande pour qu'en le branchant entre les deux points dont on veut déterminer la différence de potentiel il n'altère pas sensiblement le régime de circulation dans le reste du circuit. La loi d'Ohm permettra de déduire à chaque instant la différence de potentiel entre les deux points considérés de l'intensité du courant qui traverse le galvanomètre. Les voltmètres industriels sont tout à fait semblables aux ampèremètres (V. AMPÈREMÈTRE), avec cette différence que la résistance de ces appareils, au lieu d'être presque nulle, doit atteindre plusieurs milliers d'ohms. On les gradue directement en VOLTS, de sorte que les mesures se réduisent à une simple lecture.

Les principaux voltmètres en usage sont :

1° Le Voltmètre dit Galvanomètre à arrêt de position, de M. Marcel Deprez. — (La figure et la des-

cription de cet appareil se trouvent au mot AMPÈRE-MÈTRE.)

2° Le Voltmètre industriel de MM. Deprez et

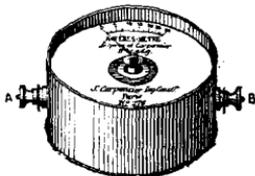


Fig. 1. — Voltmètre industriel sans réducteur.

Carpentier. — Les fig. 1 et 2 donnent la vue de ce voltmètre avec et sans réducteur. Le réducteur a pour

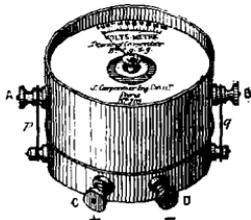


Fig. 2. — Voltmètre industriel avec réducteur.

but de permettre de mesurer avec le même appareil un plus grand nombre de volts.

3° Le Voltmètre d'Ayrton et Perry. — (V. AMPÈRE-MÈTRE.)

4° Le Voltmètre de Siemens. — Cet appareil est le même que l'électro-dynamomètre du même inventeur, décrit au mot AMPÈRE-MÈTRE.

A signaler encore le voltmètre de MM. Siemens et Halske, que ces messieurs emploient pour leurs installations d'éclairage électrique. Il présente le grand avantage de ne pas se dérégler une fois qu'il a été calibré. Il se compose essentiellement d'une grande bobine circulaire fixe et horizontale, et d'une bobine plus petite, montée sur couteaux, qui dans sa position de repos est inclinée de 60° environ sur la grande bobine. Ces bobines sont reliées de telle sorte que le courant qui les traverse toutes deux tend à faire tourner la petite bobine jusqu'à ce qu'elle devienne parallèle à la grande en passant par la position verticale; un petit poids fait équilibre à cette action. La bobine mobile porte un index léger qui se meut devant une graduation tracée sur verre dépoli; on peut lire ainsi le potentiel de chaque côté de l'instrument. L'appareil, qui a une largeur de 0m,45, une épaisseur de 0m,15 également, et une hauteur de 0m,223, est fort sensible. La bobine fixe porte 1,150 tours de fil de maillechort de 2 millimètres et demi de diamètre, et a une résistance de 664 ohms; la bobine mobile porte 800 tours du même fil, et sa résistance est de 34 ohms. L'instrument donne des indications exactes entre 60 et 110 volts.

VOLTMÈTRE

5° Le Voltmètre d'Obach. — (V. AMPÈRE-MÈTRE.)

6° Le Voltmètre de M. de Lalande. — (V. AMPÈRE-MÈTRE.)

7° Le Voltmètre de M. Lippmann. — (V. ÉLECTRO-MÈTRE CAPILLAIRE.)

8° Le Voltmètre de M. Gravier. — (V. AMPÈRE-MÈTRE.)

9° Le Voltmètre à déviations proportionnelles de MM. Deprez et d'Arsonval. — (Cet instrument est

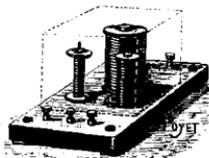


Fig. 3.

Shunt du voltmètre Marcel Deprez et d'Arsonval.

figuré et décrit au mot AMPÈRE-MÈTRE. La fig. 3 donne la vue du shunt qui l'accompagne.)

10° Le Voltmètre industriel de Thomson. — (V. GALVANOMÈTRE.)

11° Le Voltmètre calorimétrique de Carlew. — Cet instrument est fondé sur le principe suivant: *Tout courant passant dans un conducteur élève sa température et détermine par suite son allongement.* On comprend que la mesure de cet allongement puisse servir à déterminer l'intensité du courant. En prenant un conducteur assez long et assez fin, on rendra l'appareil sensible aux plus petites variations d'intensité; d'autre part, en rendant l'appareil assez résistant pour qu'en le branchant entre deux points A et B d'un circuit il ne soit traversé que par une portion du courant assez faible pour ne pas altérer sensiblement le régime de circulation dans le circuit, on pourra évaluer la différence de potentiel entre les deux points considérés. Le voltmètre de Carlew, dans lequel le fil soumis à la dilatation est en platine, se gradue empiriquement, et comme ses indications sont indépendantes du sens du courant, il est surtout employé pour mesurer les différences de potentiel des courants alternatifs.

12° Le Voltmètre à signaux optiques ou acoustiques de MM. Bruckner, Ross et C^{ie}. — Cet instrument a été spécialement construit en vue des applications industrielles; toute variation dans la force électromotrice du circuit où il est intercalé est accusée par un signal optique ou acoustique. Son fonctionnement repose sur l'attraction ou la répulsion de deux noyaux de fer doux concentriques à l'axe d'un solénoïde. Le noyau de fer doux A (fig. 4) est courbé en arc de cercle et articulé autour du centre B, de telle façon qu'il puisse se mouvoir avec la plus grande liberté. Le bras radial joignant l'armature A au fourreau est construit en métal non magnétique. Le noyau A pénètre, en partie, à l'intérieur d'un solénoïde C formé de bobines qui sont constituées par un fil de maillechort, pour éviter les différences de résistance provoquées par les changements de température. Le courant électrique entre dans l'appareil par l'une des bornes et en sort par l'autre après avoir

traversé la série des bobines du solénoïde. Sous l'action variable du courant, le noyau de fer doux pénètre plus ou moins dans le solénoïde, tandis que son poids tend à le ramener vers sa position primitive. L'ensemble est combiné de telle sorte que la pénétration du noyau soit, aussi exactement que possible,

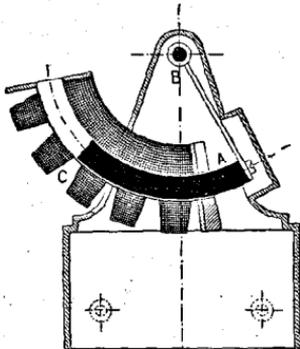


Fig. 4. — Coupe longitudinale du solénoïde.

proportionnelle à la puissance du courant. Une aiguille montée sur l'axe B (fig. 5) permet de lire directement le nombre de volts; elle se meut, en outre, entre

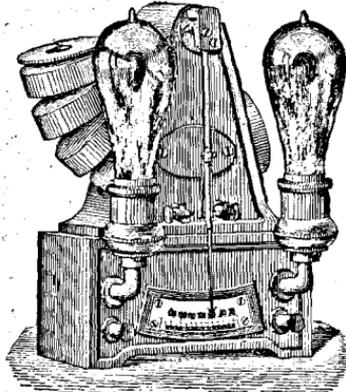


Fig. 5. — Vue extérieure de l'instrument.

deux points de contact à vis de réglage pour allumer deux lampes à incandescence lorsqu'un changement se produit dans la force électromotrice du circuit. Le verre de ces lampes étant diversement coloré permet d'apprécier à distance le sens de la variation du courant. Le contact de l'aiguille avec les points peut également faire retentir deux sonneries de sons différenciés. L'appareil indique des variations de force électromotrice de 1/2 0/0. (Revue industrielle.)

On peut encore citer les voltmètres Javau, Egger, Imhof, Waterhouse et Desruelles. Ce sont des instruments basés tous sur le même principe, c'est-à-dire sur la répulsion mutuelle de deux pièces de fer renfermées dans un même solénoïde; l'une d'elles est fixe, et l'autre (mobile) porte sur son axe de rotation une aiguille indicatrice qui se meut devant un limbe gradué empiriquement. Ce sont de bons appareils, en ce sens que, ne possédant pas d'*aimants permanents*, les indications qu'ils donnent ne varient pas avec le temps.

VOTER (Machine à). — Mécanisme pouvant, à la manière des machines à calculer, compter les votes et indiquer les résultats. Les systèmes proposés jusqu'ici peuvent se diviser en deux : 1° Ceux dans lesquels chaque votant a son transmetteur et son récepteur de vote, et dans lesquels la récapitulation des votes est donnée par un appareil qui réagit, d'après les indications fournies sur les récepteurs ; 2° les systèmes dans lesquels les votes ne sont exprimés que sur les transmetteurs et ne sont recueillis qu'au moment même du dépouillement du vote, au moyen d'une machine qui est mise successivement en rapport avec ces transmetteurs ; les votes se trouvent alors inscrits en face des noms des votants et en même temps additionnés.

M. Martin de Brettes a eu, en 1849, la première idée des machines à voter. En 1860, M. Saigey, inspecteur des lignes télégraphiques, a imaginé un appareil de ce genre; puis, M. Galland, en 1861, a construit une machine pouvant fonctionner. Nous citerons encore les machines de MM. Clérac et Guichenot, Jacquin, de Gaulne et Mildé, Daussin, Laloy, Debayoux, etc.

Ces divers systèmes sont décrits par Th. Du Moncel, dans son ouvrage *les Applications de l'électricité*, tome V. La machine de M. Jacquin, qui date de 1874, a été décrite sommairement au mot *RÉGÉNÉRATEUR*. (V. p. 826, Applications de la télégraphie, *Vote des Assemblées*.)

En 1888 M. P. Le Goaziou a présenté au Parlement une machine qui offre les avantages suivants :

Elle permet de totaliser presque instantanément les votes des plus nombreuses Assemblées délibérantes et d'enregistrer en même temps tous les suffrages sur une feuille de papier à l'aide de deux molettes traçantes. Toute fraude pouvant altérer la sincérité des résultats numériques du scrutin est rendue impossible, même en laissant accessibles les communications des transmetteurs.

On peut aussi, en cas de scrutin secret, n'avoir que le nombre des votes *pour* et *contre*; et enfin la disposition des circuits dans l'appareil même ne permet pas le double vote proprement dit, ni le vote multiple dans un même sens. Tous ces résultats sont obtenus avec quatre *ÉLECTRO-AIMANTS* seulement.

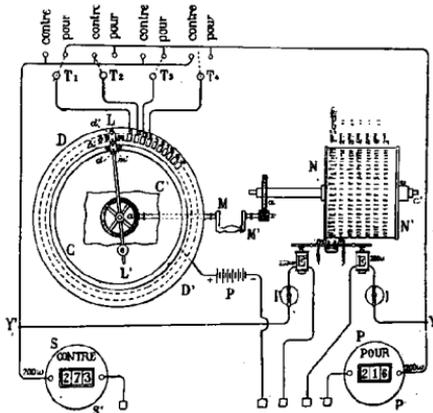
Si l'on veut avoir en plus le rappel automatique à la position de repos de tous les transmetteurs après chaque dépouillement, il faut alors autant d'électro-aimants qu'il y a de transmetteurs en plus des quatre dont il vient d'être parlé. La fig. de la page 1009 donne la vue schématique du système.

DD est un plateau vertical qui sert à distribuer le courant de la pile P successivement à tous les transmetteurs représentés en T¹, T², T³, T⁴, par de simples commutateurs à manettes à deux bornes marquées *pour* et *contre*. Toutes les bornes *pour* des divers transmetteurs sont reliées à un même fil communi-quant avec le compteur PP' des *pour* et avec l'électro-aimant E de l'enregistreur des *pour*; toutes les bornes *contre* sont également reliées à un même fil commu-

niquant avec le compteur SS' et l'électro-aimant E' des contre. Une manivelle motrice MM' sert à mettre en mouvement le bras mobile LL' du distributeur en même temps que le cylindre NN' d'enregistrement des votes. Le plateau DD' est en bois et porte une série circulaire de secteurs métalliques 1, 2, 3, 4, etc., en nombre égal à celui des votants. Une tringle en bois LL' peut tourner sur un axe *a* au centre du plateau; elle est garnie à son extrémité L d'une douille métallique dd' sur laquelle deux balais métalliques *b* et *b'* sont serrés par deux manchons *m* et *m'* également métalliques. Le balai *b'*, lors de la rotation de la tringle LL', frotte sur un anneau métallique CC', concentrique à la série des secteurs et distribue successivement à chacun de ceux-ci, par l'intermédiaire du balai *b*, le courant de la pile P avec laquelle l'anneau

CC' est constamment en relation; derrière le manchon *mm'*, et perpendiculairement au plan du plateau DD', est fixée dans la douille une petite tige *o*; cette tige est munie, à son extrémité libre, d'un gallet de roulement qui tourne sur l'anneau CC' en empêchant toute vibration de l'extrémité de la tringle LL' pendant que le balai *b'* recueille le courant de la pile P et le distribue par le balai *b* à tour de rôle à tous les secteurs. Chacun de ces derniers est relié par un conducteur à la borne centrale des transmetteurs T₁, T₂, T₃, T₄, etc., ce qui permet à chaque votant, en manœuvrant la manette du transmetteur placé dans son pupitre, de faire communiquer à volonté son secteur avec le circuit des pour ou avec le circuit des contre, ou enfin de le tenir isolé.

Au moment d'un scrutin, tous les membres qui



veulent voter placent leur transmetteur respectif soit sur la borne pour à droite, soit sur la borne contre à gauche. Il suffit alors de faire exécuter un tour complet à la tringle LL' du distributeur au moyen de la manivelle MM' pour que le courant de la pile soit fourni pendant un moment, successivement à tous les transmetteurs, qui dirigent ainsi les suffrages dans les appareils compteurs et enregistreurs.

Les transmetteurs dont la manette est laissée isolée, comme en T₄, n'émettent aucun courant; c'est ce qui a lieu en cas d'abstention.

Les compteurs de votes sont figurés en SS' et en PP'; chacun d'eux possède un mouvement d'horlogerie à poids moteur et un électro-aimant commandant l'échappement de l'axe des disques totalisateurs.

Les courants intermittents émis par l'un ou l'autre des deux circuits communs des transmetteurs se bifurquent aux points Y et Y' avant d'arriver aux compteurs, et la moitié de ces courants traverse les électros E et E', dont les bobines ont une résistance égale à celle des électros des compteurs PP' et SS'.

L'enregistreur se compose de deux électros E et E' agissant sur deux leviers à molettes travaillant *m* et *m'*. Quand l'un des électros est actif, la molette correspondante est soulevée contre le cylindre métallique NN', sur lequel est enroulée une large feuille

de papier portant un certain nombre de fois la liste des noms et numéros des votants imprimée à l'avance.

Le souèvement d'une des molettes *m* ou *m'* produit une trace à l'encre à côté du nom du votant, et le sens du vote est clairement indiqué par la position à droite du nom du votant pour le vote pour et à gauche pour le vote contre.

Lorsqu'on doit procéder à un second scrutin, on fait glisser le cylindre NN' d'un cran sur son axe, de manière que les enlignes pour et contre de la deuxième liste viennent se placer en regard des molettes *m* et *m'*; on procédera de même pour les scrutins suivants jusqu'à épuisement de la feuille de papier, qui se remplace très facilement.

Des interrupteurs I, I' servent, en cas de scrutin secret, à isoler les électro-aimants enregistreurs E, E'.

Le transmetteur placé devant chacun des membres de l'Assemblée se compose d'une manette verticale montée sur un axe horizontal; en l'inclinant à droite on vote pour, à gauche on vote contre; la position verticale correspond à l'isolement ou à l'abstention. Pour obtenir automatiquement et avec sûreté le rappel à l'isolement, M. Le Goaziou a imaginé la solution suivante:

Un poids fixé sous l'axe de la manette tend toujours à ramener celle-ci dans la position verticale; de plus,

un anneau de fer doux monté sur cet axe tourne devant deux pôles d'un électro-aimant.

Voici alors ce qui se passe : au commencement d'un vote, le président ferme, au moyen d'un commutateur, le circuit d'une pile spéciale qui actionne tous les électros des transmetteurs et les transforme momentanément en aimants ; les anneaux de fer doux placés en regard sont attirés et forment ainsi un frein magnétique assez puissant pour maintenir les manettes dans les positions où les placent les votants, sans cependant en empêcher la manœuvre.

Au moment où le scrutin est déclaré clos, on fait fonctionner l'enregistreur, puis le président ouvre le commutateur, l'aimantation des électros cesse et toutes les manettes sont ramenées à la position de repos ou d'isolement par l'action de leurs contrepoids.

Le double vote proprement dit et le vote multiple dans un même sens sont rendus matériellement impossibles par le fonctionnement même de l'appareil, dont le distributeur ne fait qu'un tour par scrutin et ne peut, par conséquent, recueillir plusieurs fois le suffrage *unilatéral* émis par chaque transmetteur. Mais si le vote *unilatéral* est impossible, il faut encore empêcher l'émission du double vote *bilatéral*, c'est-à-dire du vote *pour* et *contre* sur la même question.

Cette manœuvre pourrait, en effet, être tentée en réunissant métalliquement les deux bornes *pour* et *contre* des transmetteurs ; elle permettrait d'émettre au scrutin secret un vote *pour* et un vote *contre*, ce qui aurait pour effet d'altérer le résultat numérique du scrutin et de permettre d'atteindre le *quorum* avec un nombre insuffisant de votants.

M. Le Gozou a imaginé une disposition rhéologique telle que le courant qui passe par le transmetteur supposé dans la position du vote *pour* ne puisse passer dans la dérivation du compteur numérique correspondant que si la palette de l'électro-aimant enregistreur des votes *contre* est au repos, et réciproquement.

Il en résulte qu'en cas de fraude au scrutin enregistré le nom du votant aura de chaque côté la trace des votes *pour* et *contre*, et son vote sera annulé.

Au scrutin secret, au contraire, la fraude ne pourra

pas être constatée ; mais, les palettes des électros enregistreurs ayant été soulevées en même temps, auront coupé les dérivation et n'auront pas permis au courant de traverser les électros des compteurs numériques, et par conséquent le nombre marqué sur ces derniers représentera fidèlement les votes émis régulièrement.

Si l'on juge utile d'avoir aussi l'indication des *absentions*, comme le désir en a été exprimé plusieurs fois au Parlement, il suffit d'ajouter à l'installation un compteur supplémentaire et un troisième levier-style à l'enregistreur. Cette addition ne nécessite à chaque transmetteur aucun nouveau circuit, en faisant fonctionner le compteur des absentions et le levier-style correspondant exclusivement sous la dépendance de l'action simultanée des deux électro-aimants du *pour* et du *contre* de l'enregistreur. Les transmetteurs sont légèrement modifiés de manière que chaque votant puisse mettre sa manette à volonté soit sur le contact du vote *pour*, soit sur le contact du vote *contre*, soit sur les deux contacts à la fois.

Dans ce dernier cas, les leviers-styles des deux électro-aimants enregistreurs des *pour* et des *contre*, en s'abaissant, impriment simultanément deux traits sur la feuille de l'enregistreur et effectuent la fermeture du circuit du compteur et de l'enregistreur des absentions, par la rencontre d'un ressort-lame isolé fixé sur chacun des leviers-styles *pour* et *contre*, et de deux buttoirs de contact spéciaux reliés entre eux. Un troisième trait s'inscrit donc sur la feuille de l'enregistreur, dans l'axe des deux premiers traits, et le compteur des *absentions* fonctionne seul, car les deux compteurs *pour* et *contre* ne peuvent être actionnés par suite de l'interruption de leurs circuits par la disposition rhéologique précédemment décrite.

En variant et combinant ainsi les deux effets du transmetteur, on obtient trois expressions distinctes du vote, sans aucune erreur ni double vote possible. (Ce système a été décrit longuement dans la *Lumière électrique* du 22 octobre 1888.)

VULCANITE. — Matière isolante formée d'ébonite colorée par des substances telles que le sulfure d'antimoine, le vermillon, etc. (V. ISOLANT.)

WAGON-DYNAMOMÈTRE. — Wagon contenant des appareils destinés à étudier les résistances que l'on doit vaincre pour la traction des trains de chemins de fer dans les différentes circonstances de leur mouvement, ou qu'il faut créer pour en produire l'arrêt, et aussi à étudier les phénomènes divers qui se passent pendant le même temps sur la locomotive.

Les wagons-dynamomètres contiennent des appareils électriques; c'est pourquoi nous donnons une description de deux systèmes combinés par les Compagnies de l'Est et du Nord.

Wagon-dynamomètre de la Compagnie de l'Est. — Ce wagon, qui a figuré à l'Exposition internationale d'électricité de Paris, en 1881, est caractérisé à la fois par la diversité des appareils qu'il renferme pour enregistrer simultanément les éléments qui permettent de comparer la puissance développée avec la résistance à vaincre, et par cette particularité que les opérations les plus délicates, telles que celle qui consiste à relever le diagramme qui donne le travail de la vapeur sur les pistons de la locomotive, peuvent être faites à distance, en toute sécurité, dans le wagon dont il s'agit comme dans une sorte de laboratoire.

Nous reproduisons ci-dessous la description sommaire des appareils et de leur mode de fonctionnement d'après une note rédigée par les soins de la Compagnie de l'Est :

• 1^o **Mesure des efforts de traction et de choc.**

Le châssis du wagon est d'une construction spéciale appropriée à l'installation des appareils que l'on se proposait d'employer; il est tout en fer, solidement constitué, de façon à présenter une grande rigidité et à éviter toute flexion pouvant altérer le résultat des observations. L'appareil de choc et de traction destiné à la mesure des efforts développés sur la barre d'attelage pour la traction, ou de chocs produits sur les tampons pendant la période d'arrêt, possède une extrême mobilité dans ses guides et supports, pour annuler, autant que possible, l'influence des frottements. Dans ce but, les appareils ordinaires de guidage ont été remplacés par d'autres munis de galets horizontaux et de galets vericaux remplaçant le frottement de glissement par un frottement de roulement.

Le ressort destiné à donner, par sa flexion, la mesure des efforts est composé de quatorze lames divisées en deux groupes de sept lames chacun, d'une puissance de 10.000 kilogrammes, et dont les flexions s'ajoutent pour la facilité des observations.

Ces ressorts reposent sur de petits supports à galets dans le but de réduire au minimum les frottements qui résultent de leurs déplacements. Dans la chape du ressort d'avant est clavetée la tige de traction, sur celle du ressort d'arrière agit une sorte de joug; sur les extrémités duquel appuient les tiges des tampons.

Entre les deux ressorts est intercalée une masse fixée rigidement au châssis, dont les deux faces opposées servent de points d'appui aux ressorts dans la flexion qu'ils prennent sous l'action des efforts de sens contraire, traction ou poussés, qui les sollicitent.

Ces flexions se traduisent, au moyen de bielles et de leviers de renvoi qui commandent un crayon, en une courbe tracée sur une bande de papier qui se déroule d'un mouvement constamment proportionnel à l'espace parcouru par le train, et dont les ordonnées sont proportionnelles aux efforts développés.

Il en résulte que si l'on a tracé sur la bande de papier la ligne droite qui correspond à la position occupée par le crayon lorsque l'effort agissant sur le ressort est nul, les surfaces comprises entre cette ligne, la courbe tracée par le crayon et deux ordonnées quelconques sont proportionnelles au travail produit pendant le même temps.

L'emploi d'une vis calée sur l'un des essieux du wagon, d'organes de transmissions intermédiaires, d'appareils d'embrayage et de débrayage, permet de produire à volonté le mouvement des appareils enregistreurs ou de l'arrêter, d'éviter les chocs à la mise en marche des appareils, enfin de transformer, au moyen d'engrègements du système Dobo, le mouvement de rotation de la roue du wagon qui a lieu en avant ou en arrière, suivant le sens de la marche, en un mouvement constamment de même sens, de l'arbre qui commande le déroulement du papier. Ce même arbre est chargé de donner le mouvement à des appareils divers : *compteur kilométrique et hectométrique; enregistreurs et indicateurs de vitesse; totalisateur des travaux*, etc., qui fournissent, par des points de repère marqués sur la bande de papier, ou par des nombres lus sur les cadrans, tous les éléments du phénomène complexe de la traction des trains. Les temps sont mesurés par un *enregistreur électrique* dépendant d'une horloge à remonter également électrique, imaginée par M. Barbey, qui fait avancer un crayon toutes les dix secondes d'une petite quantité fixe. (On trouvera la description de cette horloge au mot *HORLOGERIE ÉLECTRIQUE*.)

• 2^o **Mesure du travail de la vapeur sur les pistons.** — Le travail de la vapeur sur les pistons de la locomotive a été évalué jusqu'à ce jour (dit la note de la Compagnie de l'Est) au moyen des diagrammes relevés avec des indicateurs placés immédiatement au-dessus des cylindres de la locomotive, ce qui n'était pas sans présenter de nombreuses difficultés, un certain danger même, aux grandes vitesses.

Les résultats fournis par la plupart de ces appareils renferment, en outre, des erreurs provenant de l'inertie des pièces, qui peuvent être considérables lorsque la vitesse du piston atteint une valeur un peu grande. Le but que l'on s'est proposé dans les appareils destinés à relever le travail de la vapeur a donc été :

1^o De faire ce relevé à distance;

2° De s'affranchir des causes d'erreurs provenant de l'inertie des organes de l'indicateur ;

3° De relever le travail de la vapeur, simultanément sur les quatre faces des pistons.

Les appareils employés dans ce but sont basés sur l'emploi de l'air comprimé et de l'électricité ; ils ont été étudiés et exécutés par les agents de la Compagnie de l'Est, sur des données théoriques fournies par M. Marcel Deprez.

Voici en quoi ils consistent :

Deux tableaux destinés à recevoir le tracé des courbes manométriques, dont la surface représente le travail de la vapeur sur les quatre faces des pistons, reçoivent un mouvement alternatif qui doit être la reproduction exacte et synchrone de celui des pistons de la locomotive sur laquelle on opère. Ces tableaux empruntent leur mouvement à l'essieu du wagon par l'intermédiaire d'engrenages, de bielles et de manivelles destinés à transformer le mouvement de rotation continu de l'essieu en un mouvement de va-et-vient des tableaux, d'une amplitude proportionnelle à la course du piston. Le diamètre de la roue du wagon étant invariable et, par suite, le nombre de tours de l'essieu restant constant pour une même vitesse kilométrique, tandis que le nombre des coups de piston varie avec le diamètre des roues motrices de la locomotive, il a fallu intercaler une série d'engrenages qui, par leur combinaison, permettent d'obtenir l'égalité entre les allées et venues des tableaux ci-dessus mentionnés et le nombre des coups de piston des différentes locomotives sur lesquelles on peut être appelé à opérer.

Un appareil correcteur composé de deux jeux d'engrenages différentiels, dont l'un est commandé à la main et l'autre par une roulette animée d'une vitesse variable, à la volonté de l'opérateur, suivant la distance qu'elle occupe par rapport au centre d'un disque en mouvement, permet d'obtenir le synchronisme exact des oscillations des tableaux et de celles des pistons de la locomotive en expérience. La combinaison d'une lampe, d'un miroir, de prismes, de lentilles et d'un écran qui disparaît sous l'action d'une commande électrique à l'instant précis où le piston arrive en un point déterminé de sa course, produit le STINCELLE lumineuse, qui permet de reconnaître le synchronisme est établi.

Les tableaux reproduisant exactement le mouvement des pistons, il reste à tracer à leur surface la courbe des pressions successives de la vapeur dans les cylindres. C'est ce que l'on obtient au moyen d'un indicateur manométrique et d'explorateurs placés sur les six faces de chaque cylindre, et fonctionnant sous l'action de l'air comprimé. Ces explorateurs consistent en de petits cylindres munis d'un piston très léger et susceptibles de se déplacer d'une très petite quantité, sous l'influence d'une très faible différence de pressions qui agissent sur ses deux faces. L'air comprimé à une pression supérieure à la plus forte pression de vapeur à mesurer est obtenu au moyen d'une pompe à air, commandée par un excentrique lié sur l'un des essieux du wagon, et accumulé dans un réservoir où on le prend pour le fonctionnement des appareils. Cet air est amené dans un espace avec quel communicant, par une série de tuyaux, d'une part l'indicateur manométrique, d'autre part les explorateurs. Ces appareils sont donc, au même instant, mis à la même pression d'air, que l'on peut maintenir constante, ou que l'on fait décroître d'une manière continue jusqu'à la pression atmosphérique, en faisant passer l'air.

Des enregistreurs électriques, reliés au ressort de

l'indicateur, occupent donc successivement, devant les tableaux, une hauteur qui dépend de la tension de l'air comprimé.

Si, d'autre part, l'on conçoit qu'un courant électrique soit lancé dans les électro-aimants de ces enregistreurs, au moment précis où la pression dans le cylindre est égale à celle de l'air comprimé dans l'indicateur, on obtiendra sur le tableau une série de points qui indiqueront, par leur position, la pression dans le cylindre à un instant déterminé de la course du piston. Dans ce but, le piston de l'explorateur est relié à un enregistreur électro-magnétique, qui donne un signal chaque fois que l'équilibre entre les pressions qui le sollicitent, sur ses deux faces, est rompu. Et, comme les pressions qui s'exercent sur elles sont, d'une part, la pression d'air comprimé, d'autre part, celle de la vapeur dans le cylindre, on conçoit que le passage du courant marquera sur le tableau un point, dont l'ordonnée mesurera la pression de la vapeur dans le cylindre, à l'instant précis où il a été produit.

En opérant sur une série de coups de pistons successifs, on obtiendra donc une série de points qui, par leur réunion, donneront le contour du diagramme qui représente le travail de la vapeur sur les pistons. On comprend qu'en employant autant d'explorateurs et d'enregistreurs qu'il y a de courbes à tracer, on puisse simultanément relever les diagrammes sur les quatre faces des pistons, tracer la pression de la vapeur dans la chaudière et dans les différents points de son parcours, depuis la chaudière jusqu'aux cylindres, et des cylindres eux-mêmes jusqu'à l'orifice de l'échappement. »

Wagon-dynamomètre de la Compagnie du Nord. — En voici la description, extraite d'une note publiée par la Compagnie : « Le wagon dynamométrique de la Compagnie du Nord comprend : un laminoir entraîneur d'une bande de papier sur laquelle s'inscrivent automatiquement diverses observations et des enregistreurs chargés d'inscrire ces observations.

La bande de papier se déroule perpendiculairement au grand axe du wagon, proportionnellement à la vitesse du train, et dans un rapport déterminé et constant avec l'espace parcouru, 0^m,144 par kilomètre. Le mouvement du laminoir s'obtient au moyen d'une commande par courroie sur l'essieu d'avant du wagon ; une vis sans fin et une série d'engrenages réduisent la vitesse dans le rapport indiqué plus haut. Un embrayage permet d'isoler le laminoir entraîneur de la poulie de commande et, par suite, d'arrêter à volonté le déroulement du papier.

Quatre styles mobiles *a, b, c, d* (fig. 1), disposés sur une même ordonnée, suivant l'axe principal du wagon, inscrivent simultanément les observations suivantes :

- 1° Efforts de traction (style *a*) ;
- 2° Position des poteaux hectométriques (style *b*) ;
- 3° Temps écoulé (style *c*) ;
- 4° Tours de roues effectués par l'essieu commandant l'entraînement du papier ou l'espace parcouru (style *d*).

Un cinquième style *f*, fixe, trace un trait continu correspondant à l'origine des ordonnées qui indiquent les efforts de traction.

Les efforts de traction sont évalués à l'aide d'un ressort dynamométrique à lames, fixé à la tige de traction du wagon. Pour diminuer le frottement et rendre plus sensibles les plus faibles flexions de ce ressort, la tige de traction ainsi que la portion mobile du ressort se meuvent sur des galets. La transmission

des déplacements de la chape du ressort au style *a* chargé de les inscrire sur la bande de papier se fait par l'intermédiaire d'une tige verticale *EE'* (fig. 2), et d'une bielle horizontale *G* à double articulation commandant un chariot *F* porteur du style *a*. Ce dernier se meut entre deux glissières horizontales fixées au bâti de l'appareil; ces glissières, en forme de queue-d'aronde, ne permettent au chariot qu'un mouvement d'avance ou de recul, et l'empêchent de tressauter sous l'influence des trépidations du wagon,

condition indispensable pour la conservation du crayon et la netteté du trait.

Voici comment on enregistre la position des poteaux hectométriques : Le style *b* (fig. 3) est fixé à l'une des extrémités d'un levier pouvant osciller autour d'un axe vertical *xy* fixé sur le bâti de l'appareil; ce levier est actionné, à son autre extrémité, par un électro-aimant *K* (fig. 4) en communication avec un interrupteur mobile placé à l'avant du wagon à portée de la main d'un opérateur qui observe la

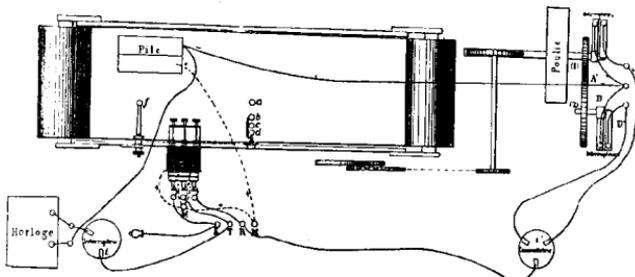


Fig. 1.

voie. Lorsque le levier est au repos, le style *b* trace un trait rectiligne. Si au moyen de l'interrupteur on lance un courant dans la bobine, le levier oscille autour de *xy* et le style *b* trace un trait perpendiculaire à la ligne primitive. En prolongeant plus ou moins le contact, et par suite la durée de l'aimantation, on obtient une ligne présentant une série de redans de longueurs différentes et permettant de les dis-

L'espace parcouru, c'est-à-dire le nombre de tours de roues est enregistré par un style *d* fixé à l'extrémité d'un levier commandé par un troisième électro-aimant. Dans le circuit allant de cet électro-aimant à la pile, se trouvent deux interrupteurs représentés fig. 4 et 5. Leur disposition est telle que si l'électro-aimant est mis en communication avec l'un ou l'autre de ces deux interrupteurs, on obtient à volonté un

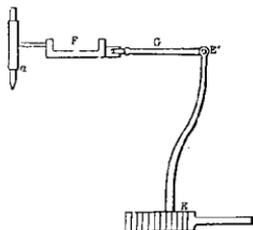


Fig. 2.

tinguer et de leur appliquer une signification particulière. C'est ainsi que la position des poteaux hectométriques, des poteaux kilométriques, des points d'aiguilles aux bifurcations des gares, enfin de tout autre objet situé sur la voie et que l'on veut signaler est exactement reportée sur la bande de papier. Le temps écoulé s'enregistre d'une façon analogue. Le style employé à cet usage a un mouvement identique au précédent. Il est actionné par un électro-aimant dans lequel on lance un courant toutes les dix secondes au moyen d'une horloge à contacts électriques. Le trait tracé par le style *c* se présente sous forme une ligne brisée.

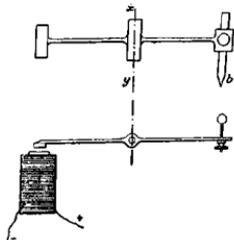


Fig. 3.

contact, soit à chaque tour de la roue du wagon, soit tous les deux tours. Cette manœuvre est instantanée, grâce à un commutateur situé sur la table d'expérience en face de l'opérateur.

Les trois leviers dont il vient d'être question sont disposés les uns au-dessous des autres sur un même axe vertical *xy* (fig. 3). Les trois électro-aimants sont montés côte à côte sur une même plaque fixée au bâti de l'appareil (fig. 1).

Les styles se composent de tubes creux en verre effilés à l'une de leurs extrémités; chaque tube est fixé dans un étui métallique qui peut glisser, à frottement doux, dans une gaine verticale faisant corps

avec le levier, de sorte que, par son propre poids, le tube appuie constamment par la pointe sur la bande de papier.

Dans l'intérieur du tube on introduit une encre très fluide (eau colorée à la fuschine) qui s'écoule par capillarité et laisse sur le papier une trace très déliée. Les divers organes composant cet appareil sont placés sur une table dite d'expérience située

à 0^m,80 du plancher, permettant ainsi à l'opérateur de suivre sans fatigue leur fonctionnement.

La bande de papier, en sortant de l'appareil, présente une série d'indications à l'aide desquelles on déduit, par un travail de bureau fort simple, une série de résultats très intéressants, et ces résultats peuvent être considérés comme parfaitement exacts. L'appareil sert également à l'étude du patinage des

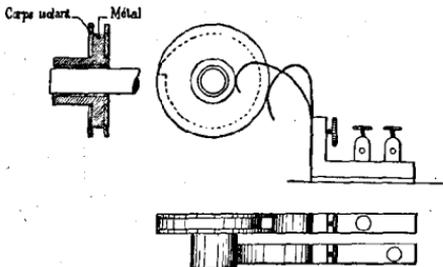


Fig. 4 et 5.

locomotives. Il suffit de supprimer pour cela la communication de l'électro-aimant commandant le style d'avec la roue du wagon et de l'établir sur la roue motrice de la machine. »

Walker (Charles), électricien anglais, né en 1812, mort en 1883, est un des premiers savants qui s'occupèrent de la TÉLÉGRAPHIE électrique; c'est à lui que l'on doit les premières expériences de télégraphie sous-marine, organisées d'abord afin de savoir si l'on pouvait faire communiquer Londres et Paris. C'est même à lui que l'on doit l'organisation des avertisseurs électriques du South Eastern Railway et les premiers essais du block-system. Directeur des services électriques du South Eastern Railway depuis 1845, trésorier du Club astronomique de Londres, un des fondateurs de la Société des Ingénieurs électriciens, il établit les premiers appareils pour donner à distance l'heure de l'observatoire de Greenwich. Il avait fondé le *Magasin électrique* de Londres, un des premiers journaux s'occupant d'électricité; il a publié de nombreux articles et des mémoires dans les *Transactions philosophiques*, spécialement sur les perturbations magnétiques et les observations météorologiques. Enfin, il a traduit en anglais le grand *Traité théorique et pratique* de La Rive.

Wall, physicien anglais, contemporain d'Otto de Guericke. Avant même que le célèbre bourgmestre de Magdebourg eût construit un globe de soufre, c'est-à-dire la première MACHINE ÉLECTRIQUE que la science ait possédée, Wall, apercevant pour la première fois l'ÉTINCELLE tirée d'un gros morceau d'ambre, exprima tout aussitôt l'idée de la ressemblance de cette étincelle avec l'ÉCLAIR.

Otto de Guericke n'avait obtenu qu'une faible lueur en frottant son globe de soufre; Wall parvint à produire une lumière plus marquée en frictionnant doucement avec la main bien sèche, ou une étoffe de laine, un gros morceau d'ambre en forme de cône. En présentant le doigt à une petite distance de l'ambre ainsi frotté, il entendit un petit craquement suivi d'une forte étincelle. « En frottant rapidement, dit-il,

le morceau d'ambre avec du drap, et en le serrant assez fortement avec ma main, on entendit un nombre prodigieux de petits craquements, et chacun d'eux produisit un petit éclat de lumière; mais lorsqu'on frotta l'ambre doucement et légèrement avec le drap, il produisit seulement de la lumière et point de craquement. Si quelqu'un présentait le doigt à une petite distance de l'ambre, on entendait un grand craquement, suivi d'un grand éclat de lumière. Ce qui me surprend beaucoup en cette éruption, c'est qu'elle frappe le doigt très sensiblement et y cause une impression de vent, à quelque endroit qu'on le présente. Le craquement est aussi fort que celui d'un charbon sur le feu, et une seule friction produit cinq ou six craquements ou plus, suivant la promptitude avec laquelle on place le doigt, dont chacun est toujours suivi de lumière. Maintenant je ne doute pas qu'en se servant d'un morceau d'ambre plus long et plus gros, les craquements et la lumière ne fussent plus et l'autre beaucoup plus grands. Cette lumière et ce craquement paraissent en quelque façon représenter le tonnerre et l'ÉCLAIR. » (Priestley, *Histoire de l'électricité*.)

M. L. Figuier signale avec raison cette observation comme très curieuse, à cause de l'époque à laquelle elle a été faite; mais Wall n'a pu en tirer de conséquences sérieuses soit faute d'expériences suivies, soit à cause de l'état d'enfance où se trouvait alors la science électrique.

Walsh (John), membre de la Société royale de Londres, mort en 1795. — Il étudia la secousse produite par la TOAILLE et prouva qu'elle est d'origine électrique.

Watt (James), célèbre physicien et mécanicien anglais, né à Greenock, en Écosse, le 19 janvier 1736, mort à Heathfield le 15 août 1819. Il doit être mis au nombre des hommes qui ont fait le plus d'honneur à l'humanité. James Watt, quoiqu'il ait fourni lui-même une longue carrière, était né avec une santé assez délicate pour que ses parents dusent fréquemment interrompre les leçons qu'il recevait à l'école

primaire publique de Greenock et le laissèrent le plus souvent s'occuper à la maison, selon ses goûts, de la construction de petites machines, de dessins géométriques, etc. Sa dévorante activité intellectuelle s'attaquant à tous les sujets d'étude : botanique, minéralogie, géologie, physique, chimie, médecine, chirurgie, histoire, poésie et érudition. Mais quelques revers de fortune qui virent frapper sa famille le firent renoncer à ses douces habitudes de savant fanfanié. Pour ne pas rester à charge à son père, il alla, en 1755, se placer à Londres chez un habile constructeur d'instruments de mathématiques, à qui il ne tarda pas à rendre d'importants services. Au bout d'une année, il s'était déjà rendu maître de tous les secrets du métier qu'il venait d'embrasser et songea à s'établir lui-même à Glasgow constructeur d'instruments de précision. L'université de cette ville lui accorda le titre de son ingénieur et disposa en sa faveur d'un petit local, où elle lui permit d'établir une boutique, d'où sortirent bientôt des appareils de physique et de mathématiques d'un travail exquis, dont quelques-uns sont aujourd'hui conservés comme des reliques. Ce sont ses fonctions d'ingénieur de l'Université de Glasgow qui amenèrent Watt à s'occuper de la machine à vapeur. On sait qu'il y apporta des perfectionnements considérables. Bien qu'il se fit complètement retiré des affaires en 1800, au moment même de la découverte de la pile, et que par conséquent il ne se soit jamais occupé d'électricité, son nom a été adopté pour désigner l'unité de travail électrique. (V. WATT.)

WATT ou volt-ampère. — Unité proposée à l'association britannique en 1882 par M. Siemens, et adoptée depuis par le Congrès international d'électricité. C'est la puissance correspondante au travail produit par un AMPÈRE sous un VOLT de potentiel pendant une seconde. (V. UNITÉS ÉLECTRIQUES.)

Watt = $\frac{E}{g}$ en kilogrammètres.

WATTMÈTRE ou **voltampèremètre.** — (V. ce dernier mot.)

WAY-DUPLEX. — (V. PHONOPLÉX.)

Weber (Charles-Philippe-Max-Marie de), ingénieur allemand, né à Dresde en 1822, mort à Berlin le 18 avril 1881. Il est le fils du célèbre compositeur de ce nom, dont la mort le laissa orphelin à l'âge de quatre ans. Après avoir suivi les cours de l'École polytechnique de Dresde, de l'université de Berlin et de l'Institut de Borsig dans cette ville, il fut employé comme ingénieur dans la construction de plusieurs chemins de fer, visita ensuite l'Allemagne, la Belgique et la France, résida longtemps en Angleterre, où il ravivait sous la direction de Brunel et de Stephenson, et, après avoir parcouru encore l'Afrique septentrionale et une partie du nord de l'Europe, entra, en 1850, au service du gouvernement saxon. Nommé directeur du télégraphe de l'État, il fit construire en six mois plusieurs lignes télégraphiques, devint, en 1852, membre de l'administration des chemins de fer de l'État et, plus tard, fut nommé directeur du chemin de fer et conseiller relatif aux chemins de fer, entre autres ouvrages de l'exploitation des chemins de fer : *Technologie* (1854); *École des chemins de fer* (Leipzig, 1862, 2e éd.), ouvrage qui a été traduit en la plupart des langues européennes; *Altérations et l'organisation physique des employés de chemins*

de fer (Leipzig, 1860); *Système des répartitions* (Chemnitz, 1819); *l'Assurance sur la vie des voyageurs en chemins de fer en rapport avec les secours et les pensions données aux employés de chemins de fer* (Leipzig, 1855); *les Télégraphes et les signaux des chemins de fer* (Vidmar, 1867); *l'Obligation de garantie des chemins de fer* (Weimar, 1868); etc. Il publia en outre, à Bruxelles, depuis 1855, sous le titre de *Portefeuille de John Cocherill*, un recueil important au point de vue des sciences mécaniques. On lui doit encore, dans un autre genre : *Algérie et l'émigration dans cette contrée* (Leipzig, 1851); *Excursion dans l'Afrique méridionale française* (Leipzig, 1855); *Charles-Marie de Weber*, biographie du père de l'auteur (Leipzig, 1864, 3 vol.); *De monde du travail*, ouvrage très remarquable (Berlin, 1868).

Weber (Guillaume-Édouard), physicien allemand né à Wittenberg en 1804. Il fut élevé au Pädagogium de Halle, puis suivit les cours de l'université de cette ville et s'occupa ensuite, en commun avec son frère, de recherches expérimentales dont ils consignèrent les résultats dans leur *Théorie des ondes* (Leipzig, 1825). Après s'être fait recevoir, en 1827, agrégé à l'université de Halle, il fut nommé professeur extraordinaire et alla, quatre ans plus tard, occuper une chaire de physique à l'université de Göttingue. Il fut destitué en 1837, à cause de la déclaration qu'il avait faite lors de la suppression de la constitution, et vécut ensuite soit comme professeur particulier à Göttingue, soit en consacrant ses loisirs à voyager, jusqu'en 1844, époque où il devint professeur à Leipzig. En 1843, il fut rappelé à Göttingue et y reprit son ancienne chaire de physique. Weber a établi sa réputation principalement par les travaux auxquels il s'est livré, avec Gauss, sur la magnétisme terrestre, et qui ont donné une direction toute nouvelle à cette branche des sciences physiques. Les résultats en sont consignés dans ses deux ouvrages intitulés : *Résultats des observations de la Société magnétique* (Leipzig, 1840), *Atlas du magnétisme terrestre* (Leipzig, 1840), et *Détermination des forces électro-dynamiques* (Leipzig, 1840-1857), 4 vol. On a encore de lui : *Mécanique de l'appareil locomoteur de l'homme* (Göttingue, 1836), ouvrage traduit en français sous ce titre : *Traité de la mécanique des organes de la locomotion* (1843, in-8°); *De l'application de l'induction magnétique à la mesure de l'inclinaison au moyen du magnétomètre* (Göttingue, 1853); *Déterminations proportionnelles de l'électro-dynamie, surtout relativement au diamagnétisme* (Leipzig, 1857), etc.

WEBER. — Ancienne dénomination de l'unité d'intensité. Le Congrès international d'électricité de 1881 a adopté pour unité d'intensité l'AMPÈRE. Le *weber* désignait en Angleterre l'unité d'intensité (1 volt dans 1 ohm) qui se trouvait ainsi dix fois plus forte que l'unité employée par Weber lui-même et que l'on appelait aussi *weber* en Allemagne. Dans certains cas on distinguait aussi sous le nom de *weber* l'unité de QUANTITÉ de courant produite par l'unité d'intensité par seconde. L'adoption de l'ampère comme unité d'intensité et du COULOMB comme unité de quantité a fait cesser toute confusion.

Wells (Charles-Guillaume), médecin et publiciste anglais, né dans la Caroline du Sud en 1757, mort en 1817. Il publia dans les *Transactions de la Société royale*, de laquelle il était membre : *De l'influence qui fait contracter les muscles des animaux dans les expériences de Galvani* (1796).

Werdermann (Richard), électricien, mort en 1833. On lui doit la première idée de l'emploi des charbons parallèles comme boîtes électriques. Il a inventé la lampe à incandescence qui porte son nom (v. INCANDESCENCE); il a été un des premiers à reconnaître la valeur de la machine Gramme et à l'introduire en Angleterre. Il inventa plusieurs machines dynamo-électriques. Ses travaux scientifiques dans le champ de l'électricité étaient, du reste, des plus variés. C'était aussi un chimiste distingué. (*Lumière électrique.*)

Wheatstone (Charles), célèbre physicien anglais, né à Gloucester en 1802, mort à Paris le 19 octobre 1875. Issu d'une famille pauvre, il fut placé, comme commis, chez un marchand d'instruments de musique. Là, il eut l'idée de fabriquer un violon mécanique et fut amené à faire des recherches sur l'acoustique. De curieuses expériences sur le son, qu'il publia en 1823, commencèrent à attirer sur lui l'attention des physiciens et furent reproduites dans les *Annales de chimie*. Il s'occupa ensuite de la résonance des colonnes d'air, de la transmission des sons dans les conducteurs solides linéaires (1831), inventa le télégraphe, lut en 1833, devant la Société royale, un curieux mémoire sur les figures obtenues quand on sème du sable sur des surfaces vibrantes, essaya d'imiter mécaniquement la voix humaine et construisit une machine parlante qui imitait admirablement certains sons articulés. En 1834, Wheatstone fut nommé professeur au King's College de Londres; mais, absorbé par d'incessantes recherches expérimentales, il abandonna sa chaire au bout de quelques années. « Ce fut en 1834, dit M. Tresca, qu'il publia les expériences à l'aide desquelles il était parvenu à prouver que la vitesse de l'électricité est de même ordre que celle de la lumière. Puis, précisant davantage les éléments numériques de cette étonnante vélocité, qu'il devait l'occuper sans relâche, il indiqua pour la vitesse de l'électricité l'énorme chiffre de 333.800 kilomètres par seconde. En 1837, il publia dans le *Quarterly Journal of Science* de nouvelles expériences sur le son et la description d'un appareil ingénieux, le kaléidoscope phonique, qui devint le point de départ de l'acoustique optique. L'année suivante, il communiqua à la Société royale de Londres un mémoire sur une de ses plus remarquables découvertes, les phénomènes de la vision binoculaire et le stéréoscope. Il avait été amené à inventer cet instrument, perfectionné depuis par Brewster, par une théorie entièrement neuve du concours que se prêtent mutuellement les deux yeux pour transmettre le sentiment du relief des corps. Ses expériences sur la vitesse de l'électricité avaient amené Wheatstone à chercher le moyen de s'en servir pour établir des communications à distance. Le 1^{er} février 1838, il prenait à Londres un brevet constatant sa découverte du télégraphe électrique à cadran, puis il perfectionnait son appareil, qui, le premier, fonctionna sur un chemin de fer français, celui de Paris à Saint-Germain, après avoir été adopté en Angleterre sur toutes les lignes existantes. En 1840, l'Académie des Sciences de Paris le nomma un de ses membres correspondants. Cette même année, il appliqua le principe de son télégraphe à faire lire simultanément en un grand nombre de lieux l'heure donnée par une seule horloge régulatrice. Depuis cette époque, la presque constante préoccupation de l'illustre savant a été d'améliorer la télégraphie et ses applications. Sa création des relais fut comme une nouvelle invention du télégraphe lui-même, puisqu'elle en agrandissait indéfiniment le domaine. On le vit successivement inventer

l'appareil à mesurer les résistances, connu sous le nom de *pont de Wheatstone*, pour la vérification des causes de dérangement dans les lignes; le cryptographe indéchiffrable permettant de modifier à son gré l'alphabet et de rendre les dépêches secrètes; le télégraphe écrivain (1869), etc. Parmi ses autres inventions, nous citerons : le pseudoscope, dans lequel les deux images reçues par les deux yeux en face d'un objet quelconque produisent le même effet que ses images retournées produiraient dans le stéréoscope; son photomètre, qui a été adopté dans toutes les usines à gaz pour la comparaison du pouvoir éclairant de différents bœcs; le rhéostat, qui permet de changer brusquement la puissance multiplicatrice d'un galvanomètre, en allongeant ou raccourcissant la longueur du circuit, par l'établissement ou la soustraction d'une communication convenable établie entre deux bobines; enfin l'appareil à miroir tournant, qui a depuis servi de modèle à M. Foucault dans ses recherches sur la vitesse de la lumière, et que M. Wheatstone avait construit pour obtenir celle de la propagation d'un courant électrique.

Lors de l'Exposition universelle de Paris en 1855, il fut nommé membre du jury pour la classe Chaleur, Lumière et Électricité, et il reçut alors la croix de la Légion d'honneur. Membre des principales sociétés savantes de l'Angleterre et de l'étranger, il succéda à Liebig le 30 juin 1873 comme associé de l'Académie des Sciences de Paris. En 1875, il se rendit à Paris pour montrer à l'Académie des Sciences un instrument enregistreur pour les câbles sous-marins. Atteint d'une bronchite aiguë, il fut emporté en quelques jours. Ce savant de premier ordre n'a point laissé d'ouvrage de longue haleine. Ses observations et ses inventions si remarquables et si nombreuses ont été consignées par lui dans un grand nombre de mémoires et de notes. En mourant, il laissa à son fils et à ses trois filles une fortune considérable et légua au King's College de Londres sa bibliothèque et ses instruments avec 12.500 francs. Il fit, en outre, plusieurs donations à des établissements scientifiques.

Wheke (Johann-Karl), physicien, né à Wismar (Mecklembourg suédois) le 6 septembre 1732, mort à Stockholm le 18 avril 1796. Il étudia, en 1762, les propriétés de l'électrophore. Ses travaux ont été publiés de 1758 à 1799 dans les *Comptes rendus de l'Académie suédoise*.

WILDE (Machine de). — Machine magnéto-électrique double, imaginée par M. Wilde en 1865, composée d'une bobine Siemens tournant en face d'aimants pour produire le courant qui fait fonctionner des électro-aimants, dans le champ magnétique desquels tourne une deuxième bobine Siemens, produisant le courant induit utilisable. (V. MACHINE.)

Wilson (Benjamin), né en 1708, mort à Londres le 6 juin 1788. Peintre anglais, membre de la Société royale. Il publia, en 1759, un *Traité d'électricité et de certains nombre d'articles sur l'électricité dans les Philosophical Transactions*. Il ajouta le prix à la machine électrique en 1746. Pogendorf lui attribue l'invention du *TOURNOIR ÉLECTRIQUE*.

Winkler (Johann-Heinrich), physicien allemand, né le 12 mars 1703 à Wüdingdorf (Lusace), mort à Leipzig le 18 mai 1770. Il inventa les frottoirs de la machine électrique et publia à Leipzig, de 1729 à 1744, un grand nombre de mémoires sur l'électricité.

WINTER (Anneau de). — En armant le conducteur secondaire des machines électriques à frottement d'un fil de fer courbé en anneau recouvert de bois, on augmente la longueur des étincelles produites par la machine. En effet, l'adjonction de cet anneau a pour effet d'augmenter la surface du conducteur tout en empêchant la déperdition du potentiel grâce à l'enveloppe de bois qui l'isole.

Wollaston (William-Heyde), médecin anglais, né le 6 août 1766 à East-Dereham (Norfolksh), mort à Londres le 22 décembre 1825. Il a été l'un des fondateurs de la théorie chimique de la pile; il inventa une pile à un seul liquide.

WRAY (Composition). — Composition isolante pour câbles formée de gomme laque, de caoutchouc saupoudré, de silice ou d'alumine et de gutta-percha.

Zamboni (Joseph), physicien italien, né en 1776, mort à Vérone en 1846. Pendant plusieurs années il enseigna la physique au lycée de cette dernière ville et fut nommé membre de l'Institut de Venise. On lui doit des ouvrages et plusieurs savants mémoires, parmi lesquels nous citerons : *De la pile électrique* (Vérone, 1812), écrit dans lequel il donne une description de la colonne Zambonique à laquelle il a donné son nom; *Electromoteur perpétuel* (1820. 2 vol. in-8°); *Invention d'une horloge électrique* (1831), etc. Entre autres dissertations insérées par lui dans les *Annales des sciences du royaume Lombard-Vénitien*, nous mentionnerons : *D'un micromètre électro-magnétique* (1832); *Description d'un nouveau galvanomètre* (1833); *De l'électricité statique* (1842); *Nouvelle méthode pour l'appréciation de la force centrifuge* (1843); *De la théorie de l'électrophore* (1844), etc.

ZINC.—Métal employé pour former l'élément électro-positif des piles; c'est au zinc que correspond le pôle négatif extérieur de la pile. Équivalent chimique : 32,45.—Équivalent atomique : 64,90.—Équivalent électro-chimique : 0,33598 (d'après lord Rayleigh, Roscoe, etc.).—Sa densité varie de 6,862 lorsqu'il est fondu à 7,215 lorsqu'il est laminé. Le zinc chimiquement pur n'est pas attaqué, à la température ordinaire, par l'eau acidulée d'acide sulfurique qui constitue le liquide excitateur des piles orques celles-ci sont à circuit ouvert; mais le zinc du commerce, qui contient toujours une certaine quantité de métaux étrangers, tels que l'arsenic, le cadmium et même quelquefois du plomb, est immédiatement attaqué par l'eau acidulée. Il résulte de là que le métal s'use même lorsque la pile n'est pas en activité.

Amalgamation.—Kempe a découvert, en 1828, que le zinc amalgamé jouit des mêmes propriétés que le zinc chimiquement pur; le mercure empêche, en effet, la formation d'une infinité de petits couples locaux résultant de l'attaque des corps étrangers mêlés au zinc. Le zinc chimiquement pur étant fort cher, la découverte de Kempe a rendu de grands services. L'AMALGAMATION du zinc se fait de plusieurs manières, qui ont été indiquées à ce mot. Mais nous nous en tiendrons à la marche à suivre dans chaque cas. 1° On plonge le zinc dans du mercure contenu dans un vase plat et recouvert d'eau acidulée sulfurique au 1/10; puis, avec un chiffon ou une grattoir, on étend le mercure à la surface du zinc, on rince par un rinçage à grande eau.

2° Du Moncel indique dans son ouvrage, *les Applications de l'Électricité*, t. 1^{er}, le procédé suivant imaginé par M. Berjot, pharmacien à Caen. On fait dissoudre à chaud 200 grammes de mercure dans 1.000 grammes d'eau régale (acide azotique 1 partie, acide chlorhydrique 3 parties), et on ajoute à la dissolution 4.000 grammes d'acide chlorhydrique. C'est dans le liquide ainsi préparé que l'on immerge les zinc à amalgamer.

3° M. Dronier a imaginé un procédé d'amalgamation du zinc dans la masse consistant à projeter dans du zinc fondu une certaine quantité de mercure (4 %).

Ce procédé a été remis en essai par M. E. Reynier. Voici des renseignements publiés par ce dernier :

« Lorsqu'on ne doit préparer qu'une petite quantité de zinc, on pèse séparément le zinc et le mercure, et l'on ajoute ce dernier au zinc lorsqu'il est fondu, en ayant soin de le plonger au fond du creuset à l'aide d'une cuiller en fer. Le mercure doit être chauffé et bien séché à l'avance, pour éviter des projections qui pourraient être dangereuses. L'amalgame se produit très rapidement, et il faut couler dans les moules le plus vite possible, afin d'empêcher l'évaporation du mercure, ce qui diminuerait inutilement la richesse de l'amalgame et présenterait des dangers pour la santé de l'opérateur.

« Lorsqu'il s'agit de fabriquer le zinc amalgamé dans la masse en grandes quantités, il vaut mieux préparer par avance, et avec soin, par la méthode indiquée ci-dessus, un alliage riche renfermant, par exemple, 1 de mercure pour 2 de zinc. On prépare ensuite des lois de zinc, auxquels on ajoute des quantités convenables d'alliage riche, et l'on fait fondre graduellement en mettant les morceaux lot par lot dans le bain fondu.

« Il convient également de couler le plus rapidement possible les pièces à fabriquer dès que toute la masse est fondue. »

Les zincs amalgamés dans la masse sont malheureusement cassants; cependant leur emploi est fort répandu pour les piles au bichromate de potasse ou de soude.

Parmi les zincs du commerce, celui qui provient des usines de la Vieille-Montagne est considéré comme le plus pur.

Pour les piles, on doit préférer le zinc étiré au zinc fondu.

ZONE NEUTRE.—Zone comprise entre les deux pôles d'un aimant et dans laquelle il n'existe qu'une faible quantité de magnétisme libre.

ERRATA

Page	Colonne 1.	5 ^e alinéa.	Ligne	8.	Au lieu de :	Lisez :
— 14.	— 1.	6 ^e	—	—	...448 grammes.	...44,8 grammes.
— 19.	— 1.	6 ^e	—	—	...une aiguille mobile surtout d'un axe horizontal, dans un plan vertical per- pendiculaire au méridien magnétique;	...une aiguille mobile dans un plan perpendicu- laire à l'aiguille d'incli- naison;
— 27.	— 1.	9 ^e	—	—	...définir l'intensité...	...définir l'unité d'inten- sité.
— 27.	— 2.	1 ^{er}	—	—	...X 10 volt.	...X 10 ⁻⁸ volt.
— 36.	— 2.	6 ^e	—	—	...une pile Daniell...	...un couple Daniell...
— 36.	— 2.	6 ^e	—	—	...fil télégraphique ordi- naire.	...fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre. (A supprimer.)
— 53.	— 2.	3 ^e	—	—	... (fig. 5).	BAROMÉTROGRAPHE.
— 52.	— 2.	1 ^{er}	—	—	BAROMÉTROGRAPHE.	BAROMÉTROGRAPHE.
— 52.	— 1.	1 ^{er}	—	1 et 8.	...Reckenzau...	...Reckenzaum...
— 65.	— 2.	6 ^e	—	—	...que le moment...	...que le mouvement...
— 65.	— 2.	6 ^e	—	—	...de la distance.	...de leur distance.
— 78.	— 1.	9 ^e	—	—	Boîte de résistance.	Boîte de résistances.
— 79.	— 2.	3 ^e	—	—	...Langius.	...Langley.
— 81.	— 1.	2 ^e	—	25.	...tout à fait perpendi- culaire.	...tout à fait verticale.
— 97.	— 2.	4 ^e	—	dernière ligne.	...les torons se resser- ront.	...les torons se resserre- ront.
— 99.	— 2.	2 ^e	—	—	...entre 160 et 100 kilo- grammes...	...entre 100 et 160 kilo- grammes...
— 99.	— 2.	6 ^e	—	—	Enfin les câbles bardés...	Les câbles bardés...
— 101.	— 1.	2 ^e	—	—	...qui sont une des gran- des difficultés...	...et c'est à une des grandes difficultés...
— 141.	— 1.	2 ^e	—	—	COULOMB. — Unité électrique de quantité...	COULOMB. — Unité pratique de quantité élec- trique...
— 141.	— 1.	5 ^e	—	—	...à la seconde.	(A supprimer.)
— 181.	— 2.	1 ^{er}	—	—	... 600 chevaux de force.	...900 chevaux de force.
— 194.	— 2.	1 ^{er}	—	—	M. de Haldat.	M. de Haldat.
— 218.	— 2.	3 ^e	—	—	... la GALVANOGAUSTI- QUE...	... la GALVANOGAUSTI- QUE...
— 222.	— 2.	5 ^e	—	—	Les fig. 16 et 17 don- nent...	Les fig. 13 et 14 don- nent...
— 234.	— 1.	2 ^e	—	—	...tels que IONS.	...tels que IONS.
— 256.	— 2.	Formule au bas de la colonne.		—	$\frac{\mu \sin \omega t}{r^2}$	$\frac{\mu \sin \omega t}{r^2}$
— 257.	— 1.	Les deux premières formules.		—	$\frac{\mu \sin \omega t}{r^2} \cos \epsilon$	$\frac{\mu \sin \omega t}{r^2} \cos \epsilon$
— 263.	— 1.	2 ^e	—	—	...M. Debrun.	...M. Debrun.
— 263.	Légende de la figure 5.		—	—	Électromètre de Thomp- son...	Électromètre de Thon- son...
— 305.	— 2.	5 ^e	—	—	...les EXTRA-COURANTS de rupture...	...les EXTRA-COURANTS de fermeture...
— 333.	— 1.	4 ^e	—	15.	...et la déviation du cour- rant...	...et la direction du cour- rant...
— 384.	— 2.	2 ^e	—	—	Ajouter : V. ELECTROGÈNE	d'Hennay.
— 411.	— 1.	4 ^e	—	1 et 2.	...on distingue celle où la déclinaison est nulle. Elle part de...	...on distingue celles où la déclinaison est nulle. L'une d'elles part de...
— 439.	— 2.	5 ^e	—	—	...W. Thompson.	...W. Thomson.
— 448.	— 1.	3 ^e	—	1 et 3.	Machines de Ladd, de Siemens, de Wheatstone.	Machines de Siemens. de Wheatstone. — Nous nous contenterons de si- gnaler la machine de M. Siemens, et celle de M. Wheatstone qui...

Page 486. Colonne 1. 6^e alinéa. Lignes 1 et 2.Azimut magnétique.—
Angle qui mesure la déclinaison de l'aiguille aimantée.Azimut magnétique.—
Arc de l'horizon compris entre le méridien d'un lieu et le méridien magnétique; cet arc détermine la déclinaison de l'aiguille aimantée.

— 486. — 1. dern. alinéa. — 3.

...l'aiguille de déclinaison.

...l'aiguille d'inclinaison.

— 486. — 2. 2^e — 4 et 2.Méridien magnétique.—
Plan qui coupe la terre dans la direction de l'aiguille aimantée.Méridien magnétique.—
Plan vertical qui passe par l'axe d'une aiguille de déclinaison. Il ne se confond pas habituellement, en chaque lieu, avec le méridien terrestre. L'angle de ces deux plans s'appelle l'angle de déclinaison.— 483. — 2. 8^e — 2 et 3.

...qui les attire...

...qui les dirige...

— 493. — 1. 8^e — 4.

...Gambay...

...Gambey...

— 512. — 1. 1^{er} — 1 et 2.

MASSE — Quantité de matière renfermée dans un corps.

MASSE — En phys., quantité de matière renfermée dans un corps; en mécan., rapport du nombre abstrait qui exprime le poids d'un corps à celui qui représente l'accélération de la pesanteur.

— 528. — 2.

(a) Méthode de l'égalité résistance.

Ajouter à la fin :
Cette méthode, due à Fechner, n'est exacte que si la résistance de la pile à essayer est égale à celle de la pile étalon, ou que si ces résistances sont négligeables, comparées à celle de la boîte.— 577. — 1. 4^e — 1.Naudet (Alfred),
électricien français, mort à Paris le 7 octobre 1883.Naudet (Alfred),
électricien français, né à Paris le 3 mars 1835, mort à Paris le 11 octobre 1883.— 611. — 2. 8^e — 7.

...scellé dans un mur.

...scellé dans un mur.

— 673. — 2.

Priestley.

Priestley.

— 688. — 2. av.-dern. alin. — 3.

...a imaginé en 1885 un rappel...

...a imaginé un rappel...

— 690. — 2. av.-dern. alin. — 2.

...a imaginé en 1886 un rappel...

...a imaginé un rappel...

— 729. — 1.

Reis.

Reiss.

— 749. Figure.

Ajouter : M. Van Rysselberghe a réitéré l'opinion de M. Rothen (v. sa réponse, insérée dans le *Journal télégraphique de Berne* et dans le *Bulletin de la Société belge d'électriciens*, t. V, n^o 8, p. 338). — Il a établi que son système rend inaudibles au téléphone les courants du télégraphe sans qu'il en résulte pour le téléphone un inconvénient quelconque.

— 913. — 1. — 23.

En Europe, le système fonctionne sur 15.123.406^m de fils.
On l'applique en ce moment sur 5.920.200 —— 992. — 1. 8^e —

Soit au total..... 21.043.606 fils.

— 992. — 2. Art. F. — Potential.

$$f = \frac{Q}{d} \quad f = \frac{Q}{r}$$

— 992. 2^e col. du tableau, Champ électrique.

$$E = IR = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} \quad E = IR = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$$

$$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} \quad L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$$