

claires et plus foncées, les hélices successives qui sont appliquées sur l'anneau de fer doux (\*). Les pièces de cuivre rayonnantes, auxquelles sont soudées les extrémités des fils des hélices, se prolongent en avant de l'anneau, de manière à former un cylindre *k*, de diamètre plus petit : elles sont séparées les unes des autres par des rubans de soie, ou de toute autre matière isolante. Sur ce cylindre *k* viennent s'appuyer, aux deux extrémités d'un diamètre perpendiculaire à la ligne des pôles A, B, deux lames *c*, *d*, ou plutôt deux balais de fils métalliques assujettis aux colonnes fixes *g*, *h*, qui reçoivent les fils *f* et *f'* et permettent de faire passer le courant dans un appareil quelconque (\*\*). — Le mouvement est imprimé à l'anneau au moyen d'une manivelle et d'une roue dentée R, qui engrène avec un pignon fixé à l'anneau (ce pignon est masqué sur la figure). On obtient facilement ainsi une vitesse de plusieurs centaines de tours par minute. — Avec cet appareil, on peut amener à l'incandescence un fil métallique de plusieurs décimètres de long, et réaliser la plupart des expériences qui exigeraient l'emploi d'une dizaine d'éléments de Bunsen.

651. **Machine de Gramme sans aimant, ou machine dynamo-électrique.** — Pour les diverses opérations auxquelles l'industrie applique aujourd'hui les machines magnéto-électriques, on tend à substituer, aux aimants, des électro-aimants auxquels on peut donner une puissance beaucoup plus considérable. — C'est ce qu'on a fait également pour la machine de Gramme.

Mais ce qu'il importe de remarquer, c'est qu'il n'est alors nullement nécessaire d'employer, pour développer le magnétisme dans l'électro-aimant inducteur, une source d'électricité distincte : il suffit d'introduire d'une manière permanente le fil qui entoure les branches de l'électro-aimant, dans le circuit même des conducteurs que doit parcourir le courant induit : la machine, une fois mise en mouvement, acquiert, d'une manière presque instantanée, une puissance qui va ensuite en croissant avec la vitesse de rotation. — On peut considérer alors le noyau de l'électro-aimant inducteur comme possédant, avant que le mouvement se produise, une aimantation faible, qui est due, soit à l'action du magnétisme terrestre, soit au magnétisme rémanent. Cette faible aimantation suffit pour développer, au moment où la rotation commence, un courant induit, qui développe lui-même dans l'électro-aimant une aimantation de plus en plus grande, jusqu'au

(\*) L'anneau est formé, non pas par une pièce de fer doux massive, mais par un faisceau de fils de fer, soudés en anneaux et juxtaposés.

(\*\*) Les fils métalliques qui forment les balais *c* et *d* sont assez flexibles pour toucher simultanément plusieurs des pièces de cuivre voisines. Il en résulte, d'une part, que le courant n'est jamais interrompu ; d'autre part, qu'on supprime ainsi la résistance des hélices qui sont voisines de la ligne neutre, et qui ne contribueraient qu'à diminuer l'intensité du courant total, puisque les courants développés loin des pôles sont toujours très faibles.

moment où la machine atteint son régime régulier. — C'est donc, à proprement parler, le *travail* développé pour mettre la machine en mouvement, qui se transforme en une succession de courants. De là le nom de machines *dynamo-électriques*, qui a été donné à ces machines, et à toutes les machines analogues.

La figure 505 représente l'un des types de machines Gramme con-

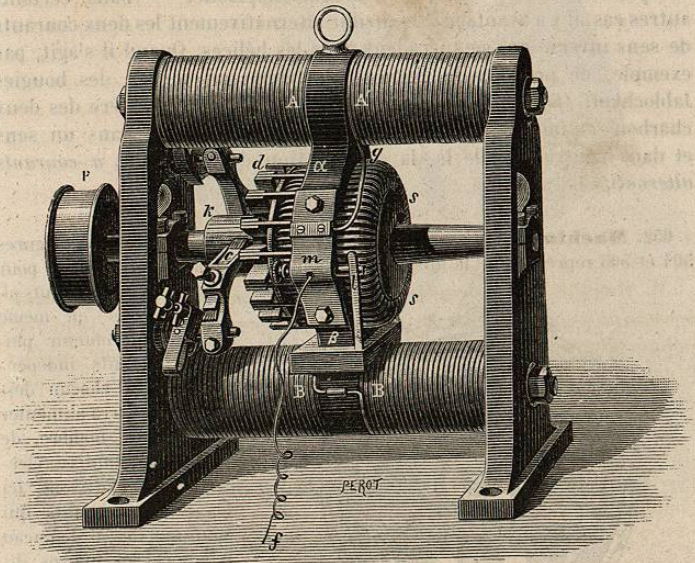


Fig. 505. — Machine de Gramme sans aimant, ou machine dynamo-électrique.

struites d'après ces principes. — La machine comprend deux électro-aimants inducteurs, l'un AB à gauche, l'autre A'B' à droite : leurs pôles de même nom, A et A', appliqués sur une même armure de fer doux  $\alpha$ , font de cette armure un pôle austral ; de même les pôles B et B', appliqués sur l'armure  $\beta$ , en font un pôle boréal. Pour introduire les électro-aimants dans le circuit parcouru par le courant induit, on fixe dans la pièce de cuivre *m* l'un des fils *f* qui servent à fermer ce circuit ; cette même pièce de cuivre, isolée des armures  $\alpha$  et  $\beta$ , reçoit le fil *g* qui vient passer successivement sur les bobines A', B', B, A, et se termine au support du balai qui ferme définitivement le circuit (dans la figure ci-contre, c'est celui qui est masqué par le cylindre *k*).

Les deux pôles de la machine sont donc le balai *c* et la pièce *m*(\*). —

(\*) Les fils des hélices sont plus ou moins fins, selon les usages auxquels la machine est destinée. — Quant aux fils des électro-aimants, ils doivent toujours être



La machine reçoit son mouvement d'un moteur à vapeur, dont l'arbre porte une courroie sans fin qui vient passer sur le tambour P.

Cette machine telle que nous venons de la décrire est à *courant continu*, comme la petite machine de Gramme que nous avons décrite d'abord (650), c'est-à-dire qu'elle donne, dans la partie du circuit qui est extérieure à la machine elle-même, un courant de sens constant; elle peut donc être employée à la galvanoplastie. — Dans certains autres cas, il y a avantage à recueillir alternativement les deux courants de sens inverse qui se succèdent dans les hélices. Quand il s'agit, par exemple, de produire la lumière électrique au moyen des bougies Jablochhoff (fig. 508), on obtient une usure plus régulière des deux charbons en faisant arriver le courant alternativement dans un sens et dans l'autre. — De là, la construction des machines à *courants alternatifs*.

652. **Machine de Gramme à courants alternatifs.** — Les figures 504 et 505 représentent la disposition donnée à la machine Gramme, pour recueillir des courants alternatifs, et en même temps pour obtenir plusieurs circuits indépendants, avec chacun desquels on pourra alimenter un certain nombre de foyers de lumière électrique. — Ce sont ici les électro-aimants qui sont mobiles : l'anneau qui porte les hélices induites est fixe. Sur l'axe de rotation, sont disposés huit électro-aimants droits, dont les pôles N. S. N. S... sont alternés. L'anneau qui porte les hélices induites est remplacé par un cylindre de fer, extérieur aux électro-aimants, et fixe. Les hélices y sont distribuées au nombre de

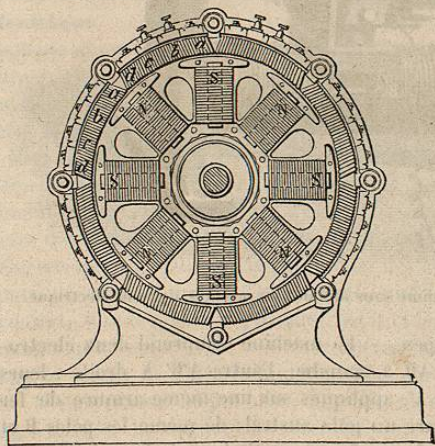


Fig. 504. — Disposition de la machine de Gramme à courants alternatifs.

huit; mais chacune d'elles est décomposée en quatre hélices partielles, distinctes, *a, b, c, d*. On réunit entre elles les hélices *a*, de manière à en former un circuit; puis, les hélices *b*, de manière à en former un autre circuit; et de

très gros, afin de n'introduire dans le circuit qu'une faible résistance. Dans certaines machines, on emploie même, au lieu de fils, des feuilles de cuivre ayant une largeur égale à la longueur des branches de l'électro-aimant, et enroulées quatre ou cinq fois autour de chacune d'elles.

même pour les hélices *c*, et pour les hélices *d*. Chacun de ces groupes d'hélices éprouvant, pendant le mouvement, la même succession d'influences de la part des pôles alternés des électro-aimants, on voit que chacun des quatre groupes constitue un générateur indépendant de courants alternatifs. — En multipliant les groupes d'hélices partielles, on peut augmenter le nombre des

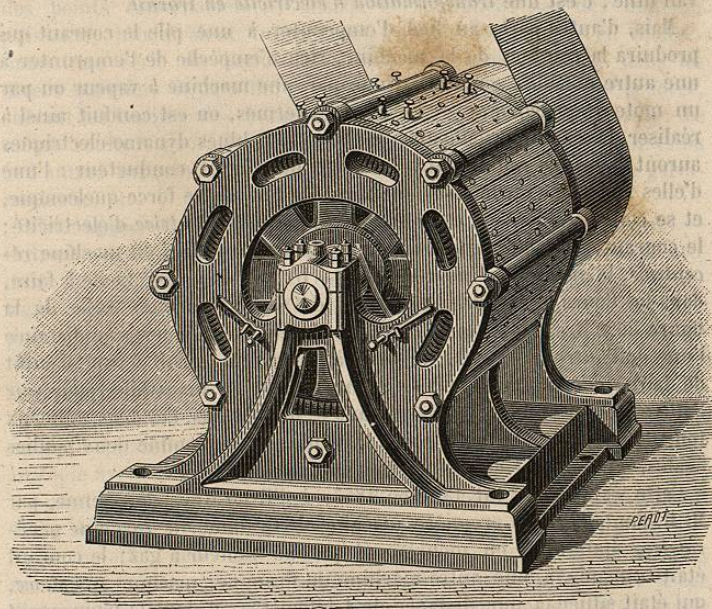


Fig. 505. — Machine de Gramme, à courants alternatifs.

circuits distincts. C'est ainsi que M. Gramme a construit des machines 12 circuits indépendants dont chacun peut entretenir 5 bougies électriques en tout, 60 bougies.

Un certain nombre d'autres machines dynamo-électriques, telles que celles de Siemens, de Brush, etc., reposent sur les mêmes principes, et présentent des dispositions plus ou moins différentes. — Les unes et les autres peuvent d'ailleurs être construites pour fournir, soit un courant *continu*, soit des courants *alternatifs*.

653. **Reversibilité des machines dynamo-électriques.** — **Transport de la force à distance.** — Nous venons de voir comment l'application d'une force motrice, à une machine dynamo-électrique, permet d'obtenir une succession de courants électriques : c'est une *transformation de travail en électricité*. — Or, les machines magnéto-électriques ou dynamo-électriques, en général, sont *réversibles*; c'est-à-dire que si l'on prend, par exemple, une machine de Gramme (fig. 502 ou



505), et si l'on fait passer dans le fil le courant d'une pile suffisamment énergique, on la voit se mettre en mouvement. C'est la dépense de l'électricité produite par la pile qui donne naissance au mouvement de la machine, et ce mouvement peut être utilisé pour la production d'un travail utile : c'est une *transformation d'électricité en travail*.

Mais, d'autre part, au lieu d'emprunter à une pile le courant qui produira la rotation de la machine, rien n'empêche de l'emprunter à une autre machine semblable, mue par une machine à vapeur ou par un moteur quelconque. — En d'autres termes, on est conduit ainsi à réaliser la combinaison suivante. Deux machines dynamo-électriques auront leurs fils réunis entre eux par un circuit conducteur : l'une d'elles sera mise en mouvement sous l'action d'une force quelconque, et se comportera alors comme une machine *génératrice* d'électricité; le courant ainsi produit, arrivant à l'autre machine, ou machine *réceptrice*, la mettra en mouvement. — L'expérience est facile à faire, dans les Cours, avec deux machines de Gramme comme celle de la figure 502; les deux machines étant placées à une certaine distance l'une de l'autre, et réunies de façon à former un circuit fermé, il suffit de faire tourner l'une d'elles, au moyen de sa manivelle, pour voir l'autre se mettre en mouvement dans le même sens. Les deux anneaux tournent en même temps et avec la même vitesse, comme deux poulies égales, qui seraient entraînées par une même courroie.

Cette expérience fut faite en 1875, à l'Exposition de Vienne, par M. H. Fontaine. Une première machine de Gramme, la machine *génératrice*, était mise en mouvement par un moteur à gaz; le courant était transmis à une autre machine de Gramme, machine *réceptrice*, qui était située à une distance de 1 kilomètre, et dont le mouvement faisait fonctionner une pompe centrifuge. — Ce fut la première réalisation du *transport de la force* par l'électricité, l'un des plus beaux problèmes qui aient été posés à notre époque, et à la solution duquel M. Marcel Deprez a le mérite d'avoir fourni déjà la plupart des éléments essentiels.

Il est facile de concevoir, en effet, de quel intérêt serait pour l'industrie la solution complète de ce problème. — Combien de chutes d'eau, de cascades, de torrents, sont restés jusqu'ici sans emploi, en raison de leur éloignement par rapport aux grands centres industriels! Une machine dynamo-électrique, mise en mouvement par une chute d'eau et fonctionnant comme machine génératrice d'électricité, pourrait transmettre le courant électrique, par des fils conducteurs, à une machine réceptrice, située dans l'usine même où le travail devrait être utilisé (\*). — D'autre part, dans les villes, combien de petites indus-

(\*) On ne retrouve jamais, au point d'arrivée, toute l'énergie dépensée au point de départ. L'une des principales causes de déperdition est l'échauffement des fils, c'est-à-dire la transformation d'une partie de l'énergie en chaleur sensible. — D'après des

tries n'ont besoin d'avoir à leur disposition qu'une petite force motrice, et sont cependant contraintes à des installations dispendieuses ou encombrantes, pour les machines motrices qui ont été employées jusqu'ici! Des machines dynamo-électriques puissantes, installées en des points convenablement choisis et actionnées par des moteurs puissants, produiraient un courant capable de mettre en mouvement une série de petites machines réceptrices, placées dans les divers quartiers de la ville, et entre lesquelles on répartirait la force, suivant les besoins des industries qui auraient à en faire usage. Le même courant pourrait d'ailleurs être employé, en d'autres points ou à d'autres instants, pour produire de la lumière, ou pour la galvanoplastie, etc.

654. **Appareils divers fondés sur l'induction magnétique.** — Outre les machines que nous venons d'étudier, et qui servent à produire des courants intenses, il existe des appareils d'induction magnétique moins puissants, fondés toujours sur le même principe, mais présentant des dispositions variables, suivant les usages auxquels on les destine. — Ainsi, le téléphone de Bell (642) est évidemment un appareil d'induction magnétique. — Pour l'*électro-thérapie*, c'est-à-dire pour le traitement de certaines maladies par l'électricité, on fait usage d'appareils magnéto-électriques présentant une assez grande analogie avec la machine de Clarke.

Enfin, il est des circonstances où l'on n'a besoin que d'un courant d'une durée très courte, mais d'une assez grande intensité, pour produire un effet déterminé (explosion d'une mine ou d'une torpille, mouvement à imprimer à un signal mobile, etc.). On fait alors usage d'appareils d'une construction particulièrement simple, dans lesquels le courant est produit par le déplacement brusque d'une bobine, au voisinage d'un aimant.

Nous citerons comme exemple l'inducteur Postel-Vinay (fig. 506), qui est employé sur certaines lignes de chemin de fer pour transmettre des signaux d'une station à l'autre.

Entre les deux pôles A et B d'un aimant, se trouve une bobine dont le noyau de fer doux CD sert d'armure à l'aimant. En agissant sur la manivelle M, on fait d'abord décrire à la bobine, assez lentement, une demi-révolution autour de l'axe H, qui est parallèle aux branches de l'aimant : on communique ainsi une tension à un ressort spiral, qui est disposé à l'intérieur du cylindre R. Si l'on abandonne alors brusquement la manivelle, le système, sollicité par le ressort, revient ra-

considérations théoriques que nous ne pouvons développer ici, on a cru d'abord que le rendement d'un pareil système ne pouvait pas dépasser 50 pour 100. Les expériences de M. Marcel Deprez ont montré la possibilité d'obtenir, dans des conditions déterminées, un rendement supérieur. — Il paraît cependant difficile, pour de grandes distances, de dépasser le rendement de 50 pour 100.



pidement à sa position primitive : le sens de l'aimantation du noyau CD étant brusquement interverti, il en résulte, dans la bobine, un courant induit d'autant plus intense que le mouvement est plus rapide. La force électromotrice du courant (différence des potentiels des deux

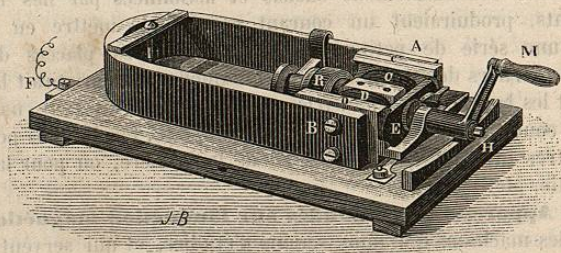


Fig. 506. — Inducteur Postel-Vinay.

extrémités du fil de la bobine) peut atteindre 500 volts. — Comme dans la machine de Clarke, l'une des extrémités du fil de la bobine est soudée à l'axe H, l'autre extrémité communique avec une virole en cuivre E, isolée de l'axe. On recueille le courant au moyen de ressorts frotteurs, convenablement disposés.

L'appareil inducteur de chaque station communique, par un fil télégraphique, avec une sonnerie électrique (615) placée à la station suivante, la terre servant de fil de retour. A chaque déplacement brusque de la bobine, correspond un choc du marteau sur le timbre, c'est-à-dire un appel. — Chacun des signaux à transmettre est représenté conventionnellement par un nombre déterminé d'appels successifs.

Cet appareil peut aussi servir pour déterminer, à distance, l'explosion d'une mine ou d'une torpille, etc.

#### V. — ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

655. **Éclairage par l'arc voltaïque.** — L'arc voltaïque, dont nous avons décrit le mode de production et les principales propriétés (565), et qui a été observé pour la première fois par Davy au commencement du siècle, constitue une source de lumière très intense, qui a été utilisée pour l'éclairage.

Le courant peut être produit soit par une pile, soit par une machine magnéto-électrique ou dynamo-électrique. — Quand on emploie une pile de Bunsen, il faut au moins 40 éléments, associés en série (\*).

(\*) On obtient un bel arc voltaïque, dont l'intensité lumineuse est équivalente à celle de 100 becs Carcel (liv. V, chap. 1), au moyen d'un courant continu, d'environ 15 am-

Pour que la lumière conserve une intensité constante, il est nécessaire que les extrémités des baguettes de charbon, malgré leur usure progressive, soient maintenues toujours à une même distance. — Cette condition a d'abord été réalisée au moyen d'appareils régulateurs.

656. **Régulateur de Foucault.** — Le premier régulateur a été imaginé par Foucault. La figure 507 représente cet appareil, avec les modifications qui y ont été apportées par Duboscq.

Les baguettes de charbon  $p, n$ , sont fixées aux extrémités de deux tiges métalliques  $T, T'$  : la tige  $T$  est munie, à sa partie inférieure, d'une crémaillère qui engrène avec les dents de la roue  $R$ ; la tige  $T'$  est supportée de même par une crémaillère, qui passe dans la colonne creuse  $S$  et vient engrèner avec un pignon fixé à la même roue  $R$ . Cette roue  $R$  est assujettie à un ressort qui tend toujours à lui imprimer un mouvement de rotation, de manière à faire monter la crémaillère de la tige  $T$  et à faire descendre en même temps la crémaillère de la tige  $T'$ . Si ces pièces étaient abandonnées à elles-mêmes, les deux charbons seraient toujours entraînés l'un vers l'autre, jusqu'au contact. Mais ce mouvement n'est possible qu'à la condition d'entraîner aussi le système des roues  $r, r'$  et de la vis sans fin  $v$  : le principe de l'appareil consiste précisément à rendre ce système immobile tant que le courant passe convenablement de  $p$  en  $n$ , et à le laisser au contraire se mettre en mouvement dès que le courant commence à s'affaiblir par

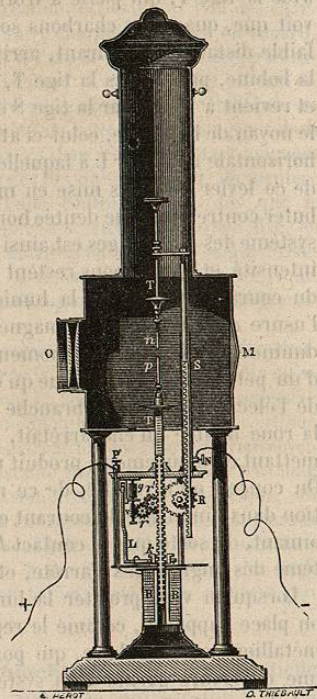


Fig. 507.

Régulateur de la lumière électrique.

pères. — La résistance de l'arc est d'environ  $1^{mm},35$ ; si l'on calcule alors la différence de potentiel des deux pointes des charbons, par la formule  $i = \frac{V}{R}$ , on trouve 20 volts. — M. Edlund a démontré que l'arc voltaïque donne naissance à une force électromotrice d'environ 50 volts, qui est en sens inverse de celle de la pile; le courant de la pile doit donc produire, aux deux extrémités des charbons, une chute de potentiel de 50 volts. La perte d'énergie correspondante à la production de la lumière est donc de  $15 \times 50 \times 10^7$  ergs par seconde (576); et pour un carcel, la dépense d'énergie est de  $7,5 \times 10^7$  ergs.



l'usure des charbons. — Pour cela, on a placé dans le pied de l'appareil une bobine dont le noyau est formé par un tube de fer doux, et dont le fil métallique est représenté par sa section en BB : l'une des extrémités de ce fil part du bouton P et est mise en communication avec le pôle positif de la pile; l'autre extrémité communique avec la plaque métallique qui forme la base de la bobine, et par suite avec la tige T, qui passe à frottement doux à travers cette plaque. On voit que, quand les charbons sont au contact, ou situés encore à une faible distance, le courant, arrivant par le bouton P, parcourt le fil de la bobine, passe dans la tige T, franchit l'intervalle qui sépare  $p$  de  $n$ , et revient à la pile par la tige S et le bouton N. Or, le courant aimantant le noyau de la bobine, celui-ci attire l'anneau de fer doux  $k$  et la branche horizontale du levier L à laquelle l'anneau est fixé; la branche verticale de ce levier est alors mise en mouvement de gauche à droite, et vient buter contre une roue dentée horizontale, fixée à l'axe de la vis  $v$ . Tout le système des engrenages est ainsi arrêté tant que le courant conserve son intensité, et les charbons restent fixes. — Au contraire, quand l'intensité du courant et celle de la lumière produite viennent à diminuer par l'usure des charbons, le magnétisme développé dans l'électro-aimant diminue, et il arrive un moment où le contact  $k$ , obéissant à l'action d'un petit ressort métallique qu'on aperçoit au-dessous de lui, s'éloigne de l'électro-aimant : la branche verticale du levier L s'écarte alors de la roue dentée qu'elle arrêterait, et tout le système des engrenages, se mettant en mouvement, produit un rapprochement des charbons  $p$  et  $n$ . On conçoit qu'il résulte, de ce rapprochement même, une augmentation dans l'intensité du courant et dans la force magnétique de l'électro-aimant, de sorte que le contact  $k$  est bientôt attiré de nouveau, le système des engrenages s'arrête, et ainsi de suite (\*).

Lorsqu'on veut projeter la lumière dans une direction déterminée, on place l'appareil, comme le représente la figure 507, dans une boîte métallique rectangulaire, qui porte, dans l'une de ses faces verticales, une ouverture garnie d'un système de lentilles O. — A l'intérieur de la boîte, sur la face opposée à l'ouverture, est un miroir concave M, qui renvoie vers les lentilles la lumière qu'il reçoit.

Parmi les nombreux appareils qui peuvent être considérés comme des modifications de celui de Foucault, il convient de citer, en particulier, celui de M. Serrin, qui donne, par un mécanisme un peu différent, mais avec une disposition semblable des charbons, une régularité de lumière presque absolue.

(\*) Le pignon de la roue R a un nombre de dents égal à la moitié du nombre des dents de la roue elle-même : il en résulte que, à chaque mouvement effectué par la roue, le point  $n$  descend d'une quantité qui est la moitié de celle dont le point  $p$  s'élève; l'observation ayant montré que le pôle positif s'use à peu près deux fois plus vite que le pôle négatif, la position de ces extrémités dans l'espace reste ainsi sensiblement constante.

657. **Régulateurs fonctionnant sans mécanisme. — Expériences de M. E. Fernet.** — Au commencement de l'année 1866, M. E. Fernet publia une disposition destinée à supprimer tout mécanisme, pour la production et le réglage de la lumière électrique.

Une tige métallique horizontale est suspendue par deux fils de soie fixés, de part et d'autre, à une petite distance de son milieu, de manière qu'une force très faible puisse l'écartier de sa position d'équilibre. A l'extrémité de cette tige, et perpendiculairement à sa direction, est assujéti l'un des charbons, dirigé lui-même horizontalement; l'autre charbon est placé en regard, dans une position fixe, et tangentiellement à l'arc de cercle que décrira l'extrémité du charbon mobile, dans son mouvement. L'un des pôles est mis en communication avec le charbon fixe; l'autre pôle, avec la tige métallique, au moyen d'une pointe verticale, placée au milieu de cette tige et plongeant dans un petit godet de mercure. — Les pointes des deux charbons étant amenées au contact, on tord légèrement le système des fils de suspension, de manière à appuyer les pointes des deux charbons l'une contre l'autre; dès que le circuit est fermé, on voit le charbon mobile s'écartier du charbon fixe, en vertu de la force répulsive qui s'exerce entre deux portions consécutives d'un même courant (note de la page 500); il se forme donc un arc électrique, et comme la force de torsion augmente avec l'angle d'écart, on obtient bientôt une position d'équilibre.

Cet équilibre est stable; puisque tout accroissement de distance des charbons diminue la force répulsive et augmente la force de torsion, tandis qu'un rapprochement diminue la force de torsion et augmente la force répulsive. L'usure des charbons fait passer le charbon mobile, d'une manière continue, par une série de positions d'équilibre : les extrémités des charbons conservent entre elles une distance sensiblement constante pendant un temps très long.

L'appareil peut d'ailleurs être employé soit avec une pile électrique, soit avec les machines magnéto-électriques, à courants continus ou à courants alternatifs. Mais il a, comme défaut, sa sensibilité même; il ne peut fonctionner régulièrement que sur un support à peu près immobile : des trépidations un peu fortes, imprimées au sol sur lequel il est placé, suffisent pour amener des irrégularités dans la lumière (\*).

658. **Bougie électrique de M. Jablochhoff.** — L'idée essentiellement pratique, et d'une remarquable simplicité, qui est due à M. Jablochhoff (novembre 1876) consiste à placer les deux charbons parallèlement entre eux, dans une position fixe (fig. 508), de manière que la combustion simultanée de leurs deux extrémités laisse toujours à une même distance les points entre lesquels doit se produire l'arc électrique. Pour obliger l'arc à jaillir toujours entre les extrémités libres,

(\*) Quelques essais ont été faits par M. Fernet, pour réaliser la mobilité de la tige avec d'autres dispositions; par exemple, en l'assujettissant à un axe métallique légèrement incliné sur la verticale, de manière qu'elle tende à prendre, sous l'action de son poids, la direction de la ligne de plus grande pente, dans le plan qu'elle décrit dans son mouvement; la force antagoniste de la répulsion électrique peut alors être rendue très petite, en réglant l'inclinaison de l'axe de rotation. L'appareil, ainsi disposé, se dérange moins facilement que le précédent, mais il exige cependant toujours une installation sur un sol à peu près immobile.



il suffit de séparer les charbons, dans toute leur longueur, par un corps isolant, tel que le kaolin, qui soit suffisamment fusible, à la température élevée de l'arc électrique, pour dégager successivement les deux baguettes. « Ces deux charbons et le corps isolant constituent, à proprement parler, dit M. Jablochhoff, une *bougie électrique*, qui se place dans un chandelier spécial. Ce chandelier se compose de deux pièces métalliques S, A, isolées l'une de l'autre, et montées sur une base d'ardoise ou de quelque autre matière. Ces deux pièces constituent une pince, dans laquelle les deux charbons sont serrés par un ressort *r*, de manière à établir un bon contact. Les deux fils, qui amènent le courant, aboutissent à cette pince. »

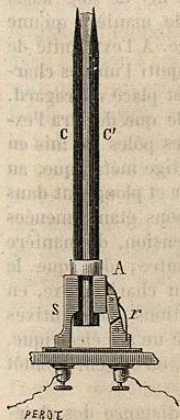


Fig. 508. — Bougie de M. Jablochhoff.

Pour allumer la bougie, il faut, si elle est à portée de la main, établir la continuité entre les charbons en plaçant, pendant quelques secondes, sur le sommet de la bougie, un morceau de mine de crayon. — Si la bougie doit être allumée à distance, on place à l'avance, entre les extrémités des charbons, un petit fil métallique fin, un morceau de plomb ou un fragment de mine : dès que le courant est établi, la fusion ou la combustion de ce corps conducteur supprime la continuité, et l'arc voltaïque reste établi.

L'un des principaux progrès qu'a permis de réaliser le système de M. Jablochhoff est la *division* de la lumière électrique. Avec les régulateurs comme celui de Foucault ou ses modifications, lorsque deux appareils sont placés dans un même circuit, il suffit que l'un des arcs s'allonge, pour que les électro-aimants des deux appareils entrent en action : il en résulte que le second arc, qui avait sa longueur normale, se raccourcit en même temps que le premier, c'est-à-dire que le réglage du premier appareil aboutit à un dérèglement du second, et réciproquement, en sorte que le fonctionnement de l'un et de l'autre devient impossible. — Avec le système de M. Jablochhoff, pourvu que la source ait une tension suffisante pour franchir plusieurs arcs successifs, on peut placer, dans un même circuit, plusieurs bougies séparées par des distances considérables (\*).

(\*) Une bougie Jablochhoff, fonctionnant normalement, doit avoir une intensité lumineuse de 40 carcelles (liv. V, chap. 1). — Pour qu'il en soit ainsi, le courant doit avoir une intensité de 8 à 9 ampères, et la différence de potentiel aux deux bornes de la bougie doit être égale à 42 volts. Quant à l'énergie dépensée par le courant pour la production de cette quantité de lumière, elle est égale au produit  $i \times V \times 40^7$  ergs (576), soit environ  $360 \times 10^7$  ergs. La dépense, par carcelle, est donc de  $9 \times 10^7$  ergs.

Pour éviter l'usure inégale des deux charbons, il faut employer des machines à courants alternatifs, comme la machine de l'*Alliance* (648), ou la machine Gramme (652).

659. **Brûleur électrique de Jamin.** — En conservant le parallélisme des charbons, comme dans la bougie Jablochhoff, Jamin a eu l'idée (mars 1879) de supprimer la matière isolante qui les sépare, et d'employer, pour fixer l'arc électrique aux extrémités des charbons, l'action exercée, sur ce conducteur de nature particulière, par un cadre de fils métalliques, disposé à peu près comme le cadre d'un galvanomètre. En effet, si le courant a les directions indiquées par les flèches de la figure 509, on voit, en se reportant aux lois des courants parallèles et aux lois des courants angulaires (598 et 599), que les quatre parties du cadre, MN, NP, PQ, QM, doivent exercer des actions concordantes pour transporter et maintenir le petit courant mobile qui constitue l'arc, à la pointe des baguettes de charbon. — L'appareil, auquel M. Jamin donne le nom de *brûleur*, peut être placé les pointes en bas, et c'est même la disposition la plus favorable ; en même temps que le courant d'air chaud tend à courber l'arc vers le haut, l'action électrodynamique tend alors à le courber vers le bas, en sorte qu'il devient à peu près rectiligne, par conséquent plus court et moins résistant, et le nombre des foyers interposés dans un même circuit peut être augmenté. Enfin, cette dernière disposition présente, au point de vue des applications à l'éclairage, l'avantage de supprimer l'ombre portée par l'appareil : la plus grande partie de la lumière est dirigée vers le sol, au lieu de se perdre vers le ciel.

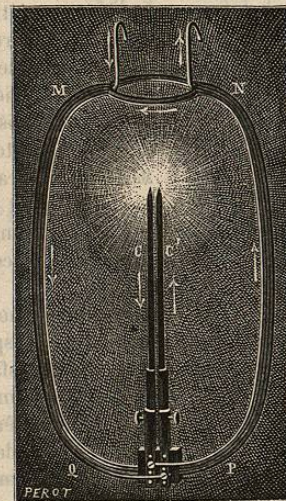


Fig. 509. — Brûleur de M. Jamin.

#### 660. Éclairage par un fil conducteur porté à l'incandescence.

— **Système Edison.** — L'Exposition d'électricité qui a eu lieu en 1881, a fait connaître en France un mode d'éclairage électrique tout différent, qui permet de multiplier beaucoup les foyers de lumière en donnant à chacun d'eux moins d'intensité. On évite, par cette répartition, les inconvénients que présente parfois l'éclat éblouissant des systèmes d'éclairage précédents.

Dans la disposition imaginée par M. Edison, de New-York, le courant passe dans un fil de charbon C (fig. 510), de la grosseur d'un crin de cheval, placé dans un petit globe de verre A dans lequel on a fait un vide parfait. Ce fil a été obtenu par la carbonisation d'un filament découpé dans une tige de bambou : il est recourbé et fixé par ses extrémités à deux fils de platine, isolés l'un de l'autre, qui servent de conducteurs. — Le fil de charbon, porté à une vive incandescence par



le courant, produit une lumière d'un jaune doré. Si le vide a été bien fait dans le globe de verre, le charbon ne brûle pas, puisqu'il ne trouve pas d'oxygène dans l'espace qui l'entoure (\*).



Fig. 510.  
Lampe  
Edison.



Fig. 511.  
Lampe  
Maxim.

On a imaginé un grand nombre de dispositions analogues à la précédente. — La figure 511 représente la *lampe Maxim*, dans laquelle le fil de charbon est plusieurs fois replié sur lui-même; il provient de la carbonisation d'une bande mince de carton bristol. Le globe a été rempli d'un gaz hydrocarboné, dans lequel la combustion ne peut s'effectuer. Une clef, placée à la base du globe, et présentant la forme du robinet d'un bec de gaz, permet d'établir ou d'interrompre le courant, de manière à allumer ou à éteindre la lampe.

Ces systèmes, et un grand nombre d'autres qui n'en diffèrent que par des détails, peuvent être disposés de manière à former des candélabres ou des lustres, et à satisfaire aux diverses exigences de l'éclairage, dans des locaux plus ou moins vastes. — Les courants destinés à alimenter ces foyers de lumière peuvent être produits, soit par des accumulateurs (558), soit par des machines de Gramme (651 et 652) ou par d'autres machines dynamo-électriques (\*\*).

(\*) L'expérience a montré cependant que la durée d'un même fil n'est pas indéfinie quand il a fonctionné, à divers intervalles, pendant 600 à 900 heures, il éprouve une désorganisation qui en détermine la rupture; il faut alors le renouveler.

(\*\*) On construit deux types de lampe Edison, dont les intensités lumineuses sont respectivement 2 carcel et 1 carcel (liv. V, chap. 1). — Ces lampes exigent un courant de 0,65 ampère; pour la lampe de grand calibre, la différence des potentiels aux deux bornes, et la résistance du fil de charbon (quand la lampe est allumée) sont respectivement 90 volts et 140 ohms; pour le petit modèle, ces deux quantités sont réduites de moitié. — L'énergie dépensée par le courant pour produire 2 carcel, dans la lampe de grand calibre, est donnée par l'expression  $W = i \times V \times 10^7$  ergs (576); elle est représentée par  $58,5 \times 10^7$  ergs. — La dépense d'énergie, par carcel, est donc  $29 \times 10^7$  ergs.

Il en résulte que l'éclairage par les lampes à incandescence est plus coûteux que l'éclairage par l'arc voltaïque. En effet, en se reportant aux notes des pages 564 et 568, on voit que la dépense d'énergie, par carcel et par seconde, est :

$29 \times 10^7$ ergs,	pour les lampes Edison :
$9 \times 10^7$ ergs,	pour les bougies Jablochhoff :
$7,5 \times 10^7$ ergs,	pour les lampes à régulateur.

Le prix de revient de l'éclairage électrique est donc d'autant plus élevé que la lumière est répartie en un plus grand nombre de foyers.

## LIVRE QUATRIÈME

### ACOUSTIQUE

#### CHAPITRE PREMIER

##### PRODUCTION ET PROPAGATION DU SON

###### I. — PRODUCTION DU SON.

661. **Production du son en général.** — Un son quelconque est toujours produit par un mouvement vibratoire, imprimé à un corps matériel.

Ainsi, quand un verre à boire est ébranlé par un choc, il produit un son : si l'on applique le doigt sur le bord du verre, on sent une sorte de frémissement, que l'on exprime en disant que le verre *vibre*. Dès que le contact du doigt fait cesser la vibration, on entend le son s'éteindre.

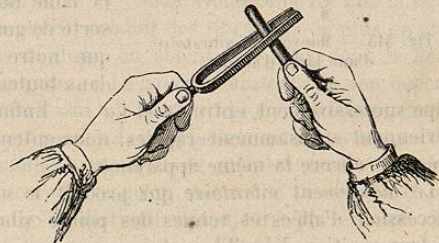


Fig. 512. — Diapason.

Prenons de même un *diapason* (fig. 512), et faisons-lui rendre un son, en écartant ses deux branches avec

une tige de bois et la faisant sortir vivement par l'extrémité de la fourche. Si nous appliquons le doigt sur l'une des branches, nous sentons le diapason vibrer : ici encore, le son s'éteint dès que la vibration cesse.

Les sons produits par les tuyaux d'orgue, résultent également d'un