diminuer l'intensité du courant continu, et par suite l'intensité du magnétisme inducteur. On règle ainsi, dans une certaine limite, suivant les besoins, la puissance de la machine à lumière.

R est une boîte de résistance, employée à cet usage dans le laboratoire de Jamin : elle sert en même temps d'*interrupteur*. Il suffit d'enlever une cheville pour interrompre à volonté le circuit de l'excitatrice et supprimer du même coup le magnétisme inducteur et les courants induits.

2° En a_1, b_2 et b_4, a_3 sont les prises du courant pour les deux circuits extérieurs. C'est à ces bornes qu'aboutissent, au-dessous de l'enveloppe protectrice, les deux extrémités des quatre circuits de la bobine. On groupe deux à deux les extrémités qui, à un instant donné, sont à des potentiels de signe contraire.

Usages. — Comme nous l'avons dit plus haut, cette machine a été construite exclusivement pour alimenter des bougies électriques.

1127. **Expériences de MM. Jamin et G. Maneuvrier.** — Cette machine de Gramme à courants alternatifs est un appareil aussi intéressant au point de vue théorique qu'avantageux dans la pratique. On peut l'assimiler à une bobine de Ruhmkorff dont les courants joindraient *à une haute tension* une *énorme quantité*. En partant de cette idée, MM. Jamin et G. Maneuvrier ont reproduit avec cette machine tous les effets de la bobine de Ruhmkorff, décompositions et combinaisons chimiques, effets lumineux, effets physiologiques, mais avec une intensité incomparablement plus grande. Les effets lumineux dans le vide ou dans les gaz raréfiés sont d'une beauté remarquable et tout à fait inconnue jusqu'ici (*Comptes rendus, Académie des sciences*, mai 1881). Quant aux effets physiologiques, les expérimentateurs les ont *subis* accidentellement dans le cours de leurs recherches : ils sont d'une si effroyable intensité, qu'on serait littéralement foudroyé si leur durée dépassait une fraction de seconde.

Enfin, MM. Jamin et Maneuvrier ont trouvé une solution très approchée du problème à la fois théorique et industriel de la transformation, *sans commutateur*, des courants alternatifs en courants continus. Ce procédé consiste essentiellement à interposer, dans le circuit extérieur de la machine à lumière, un arc voltaïque *dissymétrique*, c'est-à-dire formé entre deux électrodes hétérogènes, telles que le charbon et le mercure (*Comptes rendus*, juin 1882).

1128. **Réversibilité des machines dynamo-électriques.** — Les machines dynamo-électriques prouvent qu'en faisant tourner des bobines devant un électro-aimant on engendre des courants. On peut prévoir, d'après la loi de Lenz, que si l'on fait passer un courant continu dans une de ces machines, on communiquera à l'organe mobile un mouvement inverse de celui qui produirait ce courant continu.

L'expérience confirme cette prévision. On la réalise aisément à l'aide de l'une quelconque des machines de Gramme à courants continus. Si l'on met les bornes *c* et *i* (fig. 1047) en communication avec les pôles d'une pile de quelques éléments Bunsen, le noyau de fer doux s'aimantant aussitôt par l'action du courant qui parcourt les bobines, tout le système prend un mouvement de rotation rapide.

Ou bien encore, on dispose dans un même circuit deux machines pareilles à celle de la figure 1051, puis l'on met l'une d'elles en mouvement : le courant qu'elle engendre passant dans l'anneau de l'autre machine, celui-ci se met à tourner. Si alors on fait marcher la première en sens inverse, la seconde s'arrête, puis se met à tourner de nouveau et *dans le même sens :* le même courant passant successivement dans la bobine fixe et dans la bobine mobile, qui réagissent l'une sur l'autre, on conçoit que le produit des deux actions de même signe reste toujours le même quel qu'en soit le signe.

On exprime ce fait en disant que les machines Gramme et, en général, toutes les machines dynamo-électriques sont *réversibles*.

1129. **Moteurs électriques. — Transport de la force.** — On appelle *moteurs électriques* des machines qui transforment l'électricité en mouvement, de même que les machines thermiques transforment la chaleur en mouvement.

Les premiers moteurs électriques qu'on ait construits furent des moteurs dits *électromagnétiques*, dans lesquels on utilisait la force attractive des électro-aimants comme force motrice. Tel était le moteur construit par Froment.

D'après le principe de la réversibilité, toutes les machines dynamo-électriques peuvent être utilisées comme moteurs, avec infiniment plus de facilité et d'économie, puisque le courant excitateur peut être fourni par une machine identique. La machine de Gramme à courants continus, n'ayant ni bielle ni manivelle, ni point mort, convient particulièrement bien à la transformation de l'électricité en travail, et par suite au transport de la force à une distance plus ou moins grande.

CHAPITRE XIII

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

RÉGULATEURS, BOUGIES ET LAMPES ÉLECTRIQUES.

1130. **Définitions et classification.** — Tout système d'éclairage électrique comprend deux organes : le générateur d'électricité et le générateur de lumière.

Le premier générateur d'électricité qui ait été employé pour l'éclairage est une pile de Bunsen, formée d'au moins 40 éléments. Depuis l'invention des machines d'induction, on ne se sert plus des piles que lorsqu'on ne peut pas faire autrement, car c'est à la fois la plus incommode et la plus coûteuse des sources d'électricité. Les diverses machines de Gramme décrites ci-dessus sont des générateurs d'électricité qui peuvent être appropriés à tous les procédés d'éclairage.

Les générateurs de lumière ou *lampes électriques* se divisent en deux grandes catégories, suivant qu'elles sont destinées à utiliser l'arc voltaïque de Davy ou simplement l'*incandescence* des conducteurs traversés par les courants.

Les appareils qui utilisent l'arc voltaïque sont :

1° Les *régulateurs électriques ;* 2° les *bougies électriques*.

Le but des uns et des autres est de prévenir l'extinction qui se produirait nécessairement dans l'arc, par suite de l'usure et de l'éloignement progressifs des charbons. On y parvient dans les régulateurs à l'aide d'un mécanisme réglé par le courant lui-même, qui rapproche les pointes opposées des deux charbons au fur et à

mesure de leur combustion. Ce mécanisme est plus ou moins compliqué, mais l'organe régulateur est toujours un électro-aimant. Quand cet électro-aimant est placé dans le circuit général, ses variations de magnétisme influent sur l'intensité du courant total, et alors on ne peut placer qu'un seul appareil dans le circuit : le régulateur est dit *monophote*. Quand l'électro-aimant est placé dans un circuit dérivé, il n'influe plus sur le circuit principal, où l'on peut alors placer alors plusieurs appareils analogues : on dit que ces régulateurs sont *polyphotes*.

Dans les bougies électriques la solution est beaucoup plus simple : on juxtapose parallèlement les baguettes de charbon, au lieu de les superposer, et on emploie des courants alternatifs qui, produisant la même usure sur chacun des charbons, en laissent les pointes toujours en regard.

Enfin, on a utilisé l'incandescence que produit le passage du courant dans les conducteurs résistants, soit *à l'air libre*, et alors il y a usure plus ou moins rapide par combustion; soit *dans le vide*, et alors l'usure est considérablement diminuée : de là deux procédés d'*éclairage par incandescence*. Les générateurs de lumière correspondants sont appelés plus particulièrement *lampes électriques*. On en distingue deux sortes :

1° *Les lampes à incandescence avec combustion.*

2° *Les lampes à incandescence sans combustion.*

1131. **Régulateur de Foucault et Duboscq.** — Cet appareil, inventé par Foucault, fut construit et perfectionné par Duboscq. C'est un régulateur *monophote à ressort moteur* et *à point lumineux fixe*.

Les deux porte-charbon T, T' (fig. 1055) sont montés sur des tiges à crémaillère, et deux roues dentées, concentriques, *p*, *p'*, entraînées d'une manière continue par un mécanisme d'horlogerie (*r*, *g*), impriment aux deux crémaillères des mouvements en sens inverse, d'où résulte le contact des deux charbons, *c*, *c'* : à ce moment il y a arrêt, et le circuit du courant est fermé.

Le courant continu du générateur arrive dans l'appareil par la borne R et en sort par la borne R' après avoir suivi le chemin suivant : borne R, fil *q*, bobine BB, tige T, charbons *c* et *c'*, tige T', support S et borne R'.

Dès que le courant passe, l'arc voltaïque s'allume entre les pointes, tout petit d'abord, puis de plus en plus grand, à mesure que les charbons se consument.

Dès que l'arc est formé, les pointes ne butent plus l'une contre l'autre, et le mouvement d'horlogerie devrait repartir pour les rapprocher; mais il n'en est pas ainsi, grâce à un *électro-aimant* animé par la bobine BB. Aussi longtemps que le courant a une intensité suffisante, un contact K est attiré, et arrête le mécanisme, par l'intermédiaire du levier coudé F'L et du butoir *lm* qui appuie directement sur le régulateur *g* du rouage. Mais dès que l'intensité du courant est affaiblie par suite de l'agrandissement ou de la rupture de l'arc, le contact K est arraché, par l'effet d'un ressort antagoniste *r*, le mécanisme est déclenché, et les charbons se rapprochent de nouveau jusqu'au contact.

Ce régulateur a été construit pour utiliser le courant continu des piles. Dans

ce cas, le charbon positif s'usant environ *deux fois plus vite* que l'autre, le point lumineux ne peut rester sensiblement fixe qu'autant que la pointe positive se déplace deux fois plus que la pointe négative. On obtient aisément ce résultat en donnant à la roue dentée qui commande la première crémaillère un diamètre double de celui de l'autre roue.

1132. **Régulateur Serrin.** — C'est un régulateur du même genre que le précédent, mais plus simple : il n'y a pas de ressort moteur. L'effet du mécanisme d'horlogerie y est produit directement par le poids du porte-charbon supérieur.

1133. **Principe des régulateurs polyphotes ou à division.** — Le problème des régulateurs polyphotes consiste à rendre ces appareils indépendants l'un de l'autre, de manière qu'on en puisse placer plusieurs dans un même circuit. Il y a deux solutions : celle de M. Lontin, appliquée dans les régulateurs dits *à dérivation*, de Lontin, Mersanne, Gramme, etc., et celle de Siemens, appliquée dans la lampe dite *différentielle* de Siemens.

1° *Régulateurs polyphotes à dérivation.* — Le charbon positif A (fig. 1056) et son porte-charbon CD, mobiles autour du point C, sont en équilibre entre deux attractions contraires, celle d'un électro-aimant S et celle d'un ressort antagoniste *r*; le charbon négatif B est fixe. Le courant vient par C passe dans l'arc, de A en B, et se rend ensuite à un autre régulateur placé dans le circuit principal. Entre le point C et le charbon B est établie une dérivation : c'est là qu'est placé l'électro-aimant régulateur. La quantité d'électricité qui entre en C dans la dérivation est *proportionnelle* à la *résis-*

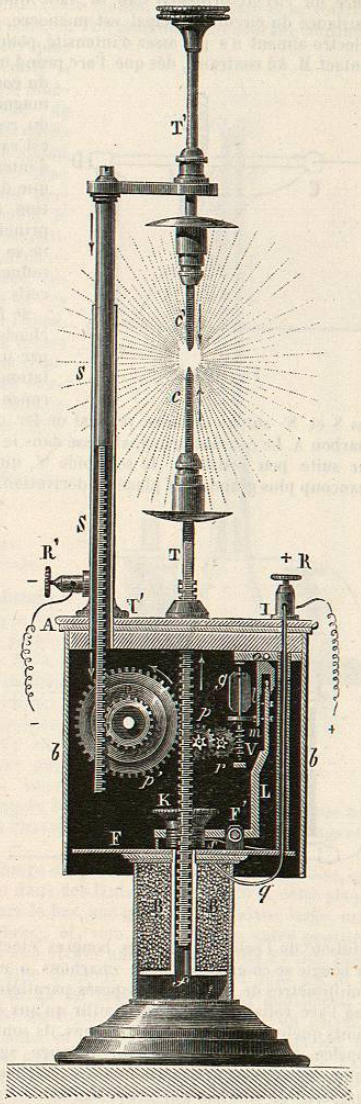

Fig. 1055.

tance du circuit principal CAB. Or, tant que l'arc a une faible longueur, la résistance du circuit principal est médiocre, et le courant dérivé qui anime l'électro-aimant n'a pas assez d'intensité pour provoquer le rapprochement du contact M. Au contraire, dès que l'arc prend une longueur exagérée, l'intensité du courant dérivé et par suite celle du magnétisme augmentent, la résistance du ressort *r* est vaincue et le charbon est rapproché. D'ailleurs, ces variations d'intensité ne se produisent à la fois que dans la dérivation et dans la portion correspondante CAB du courant principal : au delà du point B, elles ne se font pas sentir, et ne peuvent pas influer sur la marche des autres appareils.

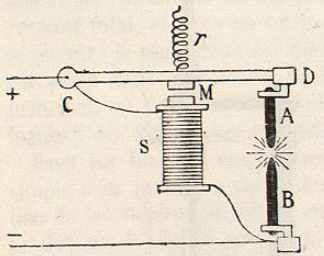

Fig. 1056.

2° *Lampe différentielle.* — L'un des charbons, A (fig. 1057), est encore porté par un levier oscillant; mais les oscillations sont produites ici par la différence des attractions de deux solénoïdes S et S' sur un cylindre vertical de fer doux qui fait équilibre au porte-charbon A. Le courant principal passe dans le solénoïde S, qui est à gros fil, et par suite peu résistant; le solénoïde S', qui est à fil fin et d'une résistance beaucoup plus grande, est placé en dérivation. Pour un écart normal des charbons, les attractions se compensent, et le levier est horizontal. Dès que l'écart dépasse une certaine limite, la résistance de l'arc et par suite celle du circuit principal augmentent, et l'intensité du courant diminue en S, tandis qu'elle augmente en S' dans la même proportion; les attractions varient dans le même sens, le levier, attiré par S', bascule autour du point O, et les charbons se rapprochent : quand ils ont repris leur écart normal, les résistances des deux circuits reprennent leurs valeurs initiales et les attractions s'équilibrent de nouveau.

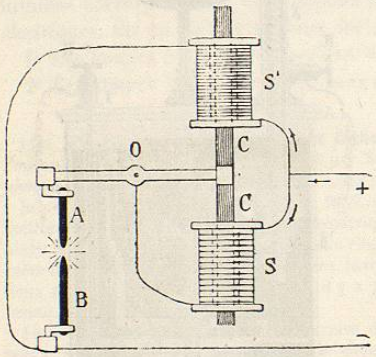

Fig. 1057.

1134. **Bougie électrique de Jablochkoff.** — La première solution de l'éclairage par les bougies électriques est due à M. Jablochkoff. Sa bougie se compose de deux charbons *a* et *b* (fig. 1058), verticaux (de 2 à 4 millimètres de diamètre), disposés parallèlement l'un à côté de l'autre. Afin que l'arc voltaïque ne puisse jaillir qu'aux extrémités, et non pas aux deux points quelconques, des deux charbons, ils sont séparés par une cloison isolante, appelée *colombin*, formée d'un mélange agglutiné de plâtre et de kaolin. Enfin, les extrémités supérieures des charbons sont reliées par une amorce *n*, composée de charbon pulvérisé, agglutiné avec une dissolution de gomme.

On fait entrer et sortir le courant par les bornes A et B : il monte dans le charbon *a* enflamme l'amorce et redescend par *b*; en même temps l'arc voltaïque se forme en *n*, et l'extrémité de la cloison isolante fuse et se volatilise, s'abaissant autant que les charbons. Si l'on employait un courant continu, le charbon positif s'userait deux fois plus vite que le négatif et l'extrémité *a* baisserait plus vite que *b*, ce qui amènerait promptement la rupture de l'arc. Mais avec des courants alternatifs les deux charbons s'usent sensiblement avec la même vitesse. L'arc n'est donc pas rompu, puisqu'il conserve une longueur à peu près constante, mais le point lumineux s'abaisse graduellement. Ce déplacement n'offre pas d'inconvénients pour l'éclairage des théâtres, des grands établissements, des rues et des places publiques, mais il rend l'appareil inapplicable aux phares et à toutes les expériences de physique qui nécessitent un point lumineux fixe. Les constantes caractéristiques d'une bougie Jablochkoff qui fonctionne normalement sont les suivantes :

Intensité du courant. .	De 8 à 9 amp.
Différence du potentiel aux bornes de la bougie	42 volts.
Pouvoir éclairant moyen.	41 carcels.

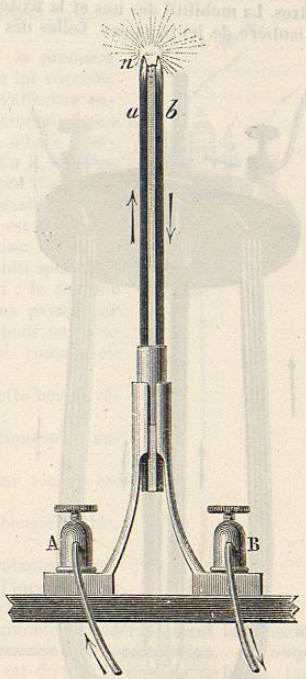

Fig. 1058.

1135. **Bougie ou brûleur Jamin.** — 1° *Principe.* — L'arc voltaïque est fixé aux extrémités des charbons parallèles, sans mécanisme ni matière interposée, au moyen du courant lui-même, par sa propre action électrodynamique. Pour cela, le courant circule plusieurs fois autour des charbons avant d'y entrer, de manière que les portions qui sont en regard soient de même sens (fig. 1059). Il est facile de voir, d'après les lois de l'électrodynamique, que tous les côtés du circuit concourent à chasser l'arc voltaïque vers les pointes et à l'y maintenir.

2° *Description détaillée.* — La lampe est portée sur une plaque d'ardoise, que l'on peut fixer dans des globes ou dans des lanternes (fig. 1059) A cette plaque est fixée également, d'une part, vers le bas, une gouttière de cuivre, large, mais peu épaisse (afin d'éviter les ombres), et, vers le haut, une autre gouttière en fer doux destinée à s'aimanter et à attirer une palette mobile EF (fig. 1060). Le courant alternatif d'une machine Gramme passe d'abord dans un fil de cuivre fin (diamètre $\frac{12}{10}$), replié 15 ou 20 fois dans les deux gouttières, et qui constitue un circuit directeur analogue au multiplicateur d'un galvanomètre. C'est au milieu de ce cadre et dans son plan que se placent les *bougies* ou *couples de charbons parallèles* entre lesquels va jaillir l'arc (il y a ordinairement quatre couples, mais on peut en placer un plus grand nombre si l'on veut prolonger l'éclairage). On introduit chacun de ces charbons dans un tube de cuivre : ils s'y tiennent verticalement, la pointe en bas, serrés par un ressort. On les emploie tels qu'ils sortent de la fabrique, sans

aucune préparation préalable. On sait que c'est le courant lui-même qui est chargé de maintenir l'arc voltaïque fixé à la pointe de chaque bougie.

Les charbons de droite (fig. 1060) sont mobiles, les charbons de gauche sont fixes. La mobilité des uns et la fixité des autres sont dues à une position particulière de leurs gaines. Celles des premiers sont fixées à une palette en fer

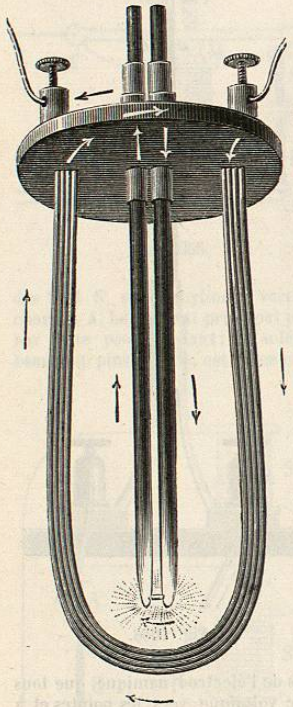

Fig. 1059.

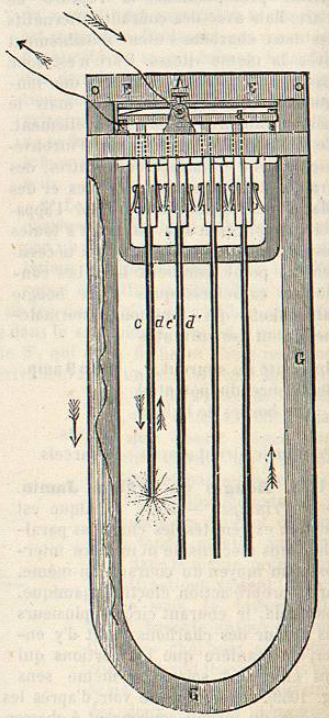

Fig. 1060.

doux EF, mobile comme un levier, autour du point O, et qui les entraîne toutes les quatre dans ses mouvements ; les autres gaines sont fixes.

3° *Allumage et rallumage.* — A l'état de repos, la palette est entraînée par le poids des charbons qu'elle porte et elle descend jusqu'à ce que l'un des charbons mobiles, le plus long ordinairement, vienne buter contre le charbon fixe qui lui correspond. Si on lance alors le courant, celui-ci, après avoir parcouru le circuit directeur de la lampe, arrive aux charbons mobiles et passe sur l'un des quatre charbons fixes. Aussitôt que le circuit est fermé, l'aimantation naît, la palette EF est attirée et les quatre couples de charbons se séparent à la fois : trois d'entre eux restent froids et obscurs, et le quatrième s'allume. L'arc s'y produit instantanément, et y persiste tant qu'il y a du charbon à brûler, toujours maintenu entre les pointes par l'action électro-

dynamique du circuit directeur, et y revenant sans cesse lorsqu'une cause intérieure l'en a chassé. Quand le courant cesse de passer, l'aimantation s'évanouit, la palette retombe et le contact entre les charbons se rétablit ; si le courant passe de nouveau, les charbons se rallument et s'écartent comme la première fois. Ainsi l'allumage est *automatique*, *instantané* et *renouvelable* à volonté.

4° *Substitution des bougies.* — Quand la première bougie est consumée, il faut qu'une autre lui succède. Le passage de l'arc à la bougie suivante s'effectue encore *automatiquement*. Jamin avait imaginé plusieurs systèmes : il a fini par adopter le suivant, dû à M. Mondos, ingénieur attaché à son laboratoire. En H, derrière l'un des charbons et à une faible distance (fig. 1061), est placée une pointe métallique, reliée métalliquement à la borne de sortie. Dès que la bougie est suffisamment usée pour que l'arc voltaïque vienne lécher la pointe métallique, une dérivation s'établit spontanément entre celle-ci et le charbon voisin : le courant revient alors directement à la source sans passer par le circuit, la palette retombe, deux charbons neufs se mettent en contact et il y a rallumage comme ci-dessus.

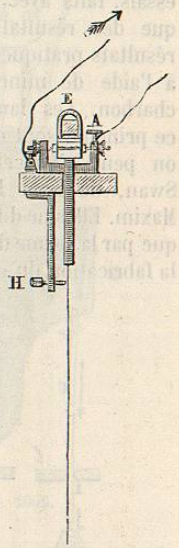

Fig. 1061.

5° *Avantages du brûleur Jamin.* — Cette bougie réunit donc plusieurs qualités essentielles :

a. Elle s'allume et se rallume *automatiquement*, autant de fois qu'on le veut.

b. Elle n'exige qu'un seul circuit pour toutes les bougies voisines.

c. Elle remplace automatiquement la bougie brûlée, par l'une des bougies voisines.

d. Elle n'emploie aucune matière isolante ayant, comme dans la bougie Jablochkoff, l'inconvénient d'altérer la couleur de la lumière et d'exiger une préparation préalable des charbons qui augmente considérablement la dépense.

1136. **Lampes électriques à incandescence avec combustion.** — 1° *Lampe Reynier.* — Le principe de ces lampes est dû à M. E. Reynier (de Paris). Une baguette de charbon C est traversée suivant *ij* par un courant continu ou alternatif (fig. 1062) assez intense pour la rendre *incandescente* dans cette portion. La grande résistance que présente ce contact imparfait est une des causes principales du dégagement de chaleur et de l'incandescence. Le courant entre par un premier contact *l*, et sort par le contact B. Le contact *l* est élastique et presse la baguette latéralement ; le contact B la touche en bout. Dans ces conditions le charbon s'use surtout en *j* et tend à se raccourcir ; mais, comme il est poussé continuellement de manière à venir buter contre B, il avancera progressivement, en glissant dans l'intervalle du contact *l*. Ce mouvement de descente est produit par le poids même du charbon et de sa gaine. Dans la pratique, le contact fixe est remplacé par un contact tournant B qui entraîne les cendres du charbon. La figure 1063 représente un modèle de lampe Reynier.

1137. **Lampes électriques à incandescence sans combustion.** — Le principe commun à tous les systèmes consiste à faire passer un courant, continu ou alternatif, dans un conducteur *assez mince* et *assez résistant* pour devenir incandescent, *assez rigide* pour ne

pas être brisé et fléchi par dilatation, *assez réfractaire* pour n'être ni fondu ni volatilisé. On enferme le conducteur en vase clos, à l'abri de l'air, pour le soustraire à la combustion. Les premiers essais, faits avec des fils de platine pur ou iridié, ne donnèrent que des résultats médiocres. Les résultats pratiques ont été obtenus à l'aide de minces filaments de charbon. Les lampes fondées sur ce principe sont déjà nombreuses : on peut citer celles d'Edison, de Swan, de Lane Fox et de Hiram Maxim. Elles ne diffèrent entre elles que par la forme du filament ou par la fabrication du charbon. Nous décrirons celle d'Edison, qui est l'inventeur de ce procédé d'éclairage.

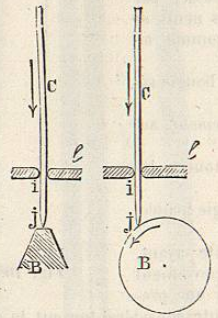

Fig. 1062.

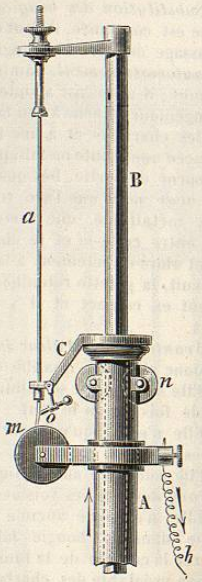

Fig. 1063.

1158. **Lampe Edison.** — Le charbon est contourné en fer à cheval (fig. 1064). C'est un filament de bambou carbonisé par un procédé spécial.

Il y a deux calibres de lampes : dans la grande lampe, dite *lampe entière*, le charbon en fer à cheval a une longueur de 12 centimètres ; il n'a que 6 centimètres dans les petits modèles, appelés *demi-lampes*.

Les deux bouts du fer à cheval se renflent un peu et viennent se prendre dans de petites pinces de platine *a* et *b*, terminaisons de fils de platine *qp*, qui amènent le courant électrique au charbon. Le tout est *soudé* au moyen d'un dépôt galvanique de cuivre. Ces fils de platine sont bien plus gros que le fil de charbon, pour ne pas rougir ; mais ils s'échauffent tout de même, et, par suite, grossissent quand la lampe est en fonction. Lorsqu'on l'éteint, ils s'amincissent en refroidissant et reviennent à leur diamètre primitif.

Ces rhéophores traversent en *p* et *q* (fig. 1065) une masse de plâtre qui termine la lampe par le bas. La lampe se termine par un pas de vis V qui permet de la fixer sur un pied quelconque, candélabre, applique, etc. Les deux électrodes qui amènent le courant viennent aboutir à deux bornes métalliques *m* et *n*,

placées dans la gaine. Il suffit de tourner un robinet commutateur placé dans le candélabre pour établir le contact, lancer le courant et allumer la

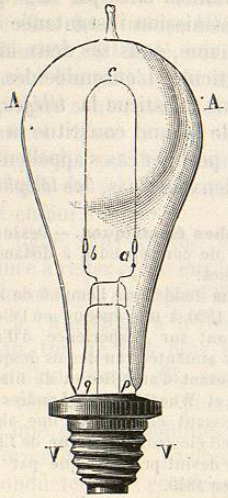

Fig. 1064.

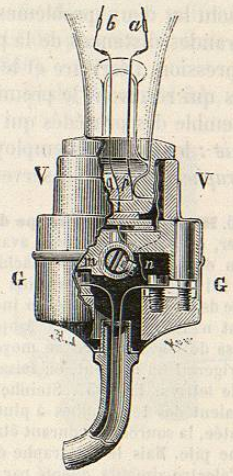

Fig. 1065.

lampe. En tournant en sens contraire, on interrompt le courant et on éteint la lampe à volonté.

Constantes. — L'intensité lumineuse varie avec celle du courant et avec le calibre de la lampe. On en construit actuellement deux types : le type A de 16 candles et le type B de 8 candles (un peu moins de 2 carcels).

	Type A.	Type B.
Résistance (à chaud)	140 ohms	70 ohms
Intensité du courant	0a,75	0a,75
Différence des potentiels aux bornes . .	100v	50v

CHAPITRE XIV

APPLICATIONS DE L'ÉLECTROMAGNÉTISME ET DE L'INDUCTION. TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE.

TÉLÉGRAPHES ÉLECTRIQUES.

1159. **Définitions.** — Nous avons vu l'application des électro-aimants puissants et des courants induits intenses à la trans-