

BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE

publiée sous la direction

DE M. GASTON TISSANDIER

LES PRINCIPALES APPLICATIONS
DE L'ÉLECTRICITÉ

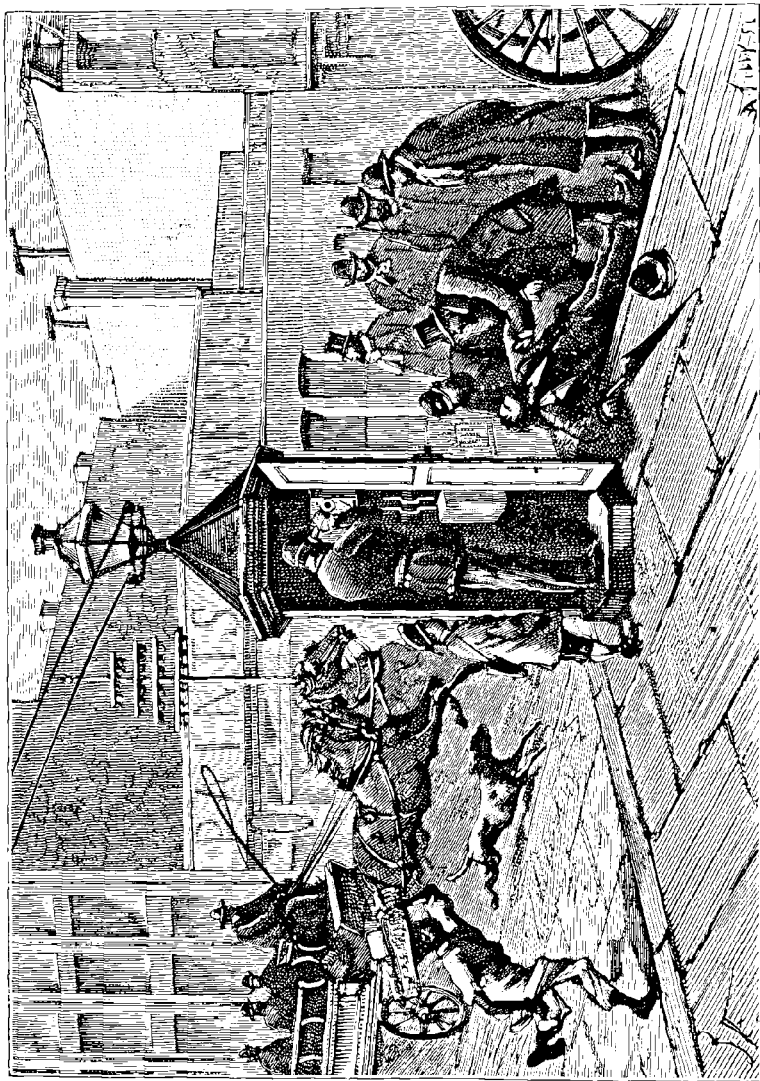
BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE

VOLUMES PUBLIÉS :

- Les Récréations scientifiques**, par M. Gaston TISSANDIER. 3^e édition.
- L'Océan aérien**, par M. Gaston TISSANDIER.
- Les Principales Applications de l'Électricité**, par E. HOSPITALIER, 3^e édition.
- Les Nouvelles Routes du Globe**, par Maxime HÉLÈNE.
- Les Races sauvages**, par Alphonse BERTILLON.
- Les Voies ferrées**, par L. BACLÉ.
- Excursions géologiques à travers la France**, par M. Stanislas MEUNIER.
- Les Métaux dans l'antiquité et au moyen âge, l'Étain**, par M. Germain BAPT.

Chaque volume est orné de nombreuses figures et planches hors texte.

Prix du volume broché, 10 fr.; richement relié, 13 fr.



SYSTÈME TÉLÉPHONIQUE DE POLICE ET DE SURVEILLANCE A CHICAGO.

BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE

LA PHYSIQUE MODERNE

LES PRINCIPALES APPLICATIONS

DE L'ÉLECTRICITÉ

PAR

E. HOSPITALIER

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
RÉDACTEUR EN CHEF DE L'ÉLECTRICIEN

Les sources d'électricité
L'éclairage électrique — Téléphone, Microphone et Photophone
Les moteurs électriques
La transmission de la force à distance
La locomotion électrique — La distribution de l'électricité.

TROISIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE

Avec 142 Figures dans le texte

Et 4 Planches hors texte.

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine

1884

Droits de traduction et de reproduction réservés.

PRÉFACE

DE LA TROISIÈME ÉDITION

Il y a quelques années à peine, un livre comme celui-ci n'aurait eu aucune raison d'être, les sujets traités dans ses chapitres successifs n'existaient pas pour la plupart. Aujourd'hui, il faut être d'une grande concision pour exposer en un seul volume les *Principales applications de l'électricité*.

Comme toutes les forces de la nature, l'électricité est un agent puissant, invisible et mystérieux, dont on ignore la véritable nature. On peut cependant affirmer qu'elle est impondérable, et toutes ses manifestations prouvent qu'elle constitue un mode particulier de mouvement, comme la chaleur et la lumière. Il y a là une éclatante confirmation de l'*unité des forces physiques* réunies par la physique moderne en ces deux principes : MATIÈRE et MOUVEMENT.

Comme confirmation de l'unité des forces physiques, l'électricité se transforme dans chacune des forces qui sont susceptibles de lui donner naissance. Source de chaleur et concentrée en un point, elle produit la lumière électrique dont les applications s'accroissent de jour en jour; source de travail chimique, on lui doit la galvanoplastie, la dorure, l'argenture, les décompositions chimiques; source de travail mécanique, elle a donné naissance au télégraphe électrique, dans lequel les forces mises en jeu sont très faibles, et au transport électrique de la force motrice à distance dont la puissance est scientifiquement illimitée.

Joignant à sa puissance une souplesse, une délicatesse extrêmes,

l'électricité a permis de transmettre à distance, sous forme de courant, toutes les vibrations si complexes qui constituent le son articulé; M. Graham Bell a créé le téléphone, dont les fils couvrent déjà les villes de leurs réseaux.

La description de ces applications multiples et merveilleuses de l'électricité fait l'objet de ce livre, dont la troisième édition, nous l'espérons, recevra du public le même accueil que les deux premières.

E. H.

Décembre 1883.

LES PRINCIPALES APPLICATIONS
DE
L'ÉLECTRICITÉ

PREMIÈRE PARTIE

LE COURANT ÉLECTRIQUE ET SA MESURE
LES SOURCES D'ÉLECTRICITÉ

Le premier phénomène électrique fut constaté par *Thalès de Milet* qui reconnut, 600 ans avant l'ère chrétienne, les propriétés acquises par l'ambre frotté d'attirer les corps légers; mais ce fut *Otto de Guericke* qui, vers le milieu du dix-septième siècle, aperçut le premier l'étincelle électrique.

L'identité entre la foudre et l'électricité ne fut démontrée qu'un siècle plus tard, en 1752, par l'illustre *Franklin*, et cinquante ans après, *Volta*, en créant la pile électrique, inaugura une ère nouvelle dans l'histoire de l'électricité qui, depuis quelques années, a vu s'accroître dans une si grande mesure le champ de ses applications.

Tout le dix-huitième siècle est rempli des études et des découvertes faites en électricité *statique*, alors que la découverte de *Volta* jette les premières bases des nombreuses découvertes de l'électricité *dynamique*.

Aujourd'hui ces distinctions tendent à disparaître, et nous verrons par la suite comment on transforme l'électricité dite statique en électricité dynamique et réciproquement.

Au point de vue des applications de l'électricité, le seul qui nous intéresse dans cet ouvrage, les *machines électriques* (à frottement ou d'induction) n'ont pas donné de résultats, et les courants de haute tension qu'elles fournissent n'ont servi jusqu'ici qu'aux expériences amusantes, aux démonstrations de l'enseignement et aux recherches purement scientifiques.

Aussi ne nous y arrêtons-nous pas, renvoyant le lecteur aux traités de physique élémentaire, dans lesquels tous ces phénomènes sont longuement décrits. L'examen des différents modes de produire l'électricité dite *dynamique* et des principales applications qu'elle a reçues rentre seul dans notre cadre, qu'il suffira, et au delà, à remplir d'une façon complète.

LE COURANT ÉLECTRIQUE.

Quelle que soit la nature intime — et qui restera probablement toujours inconnue — du phénomène désigné sous le nom de *courant électrique*, il est parfaitement établi aujourd'hui qu'il constitue un *mode de mouvement*, et que ce mouvement est produit par la transformation d'une certaine quantité d'énergie d'une forme donnée en une quantité équivalente d'énergie d'une autre forme qu'on désigne sous le nom d'*énergie électrique*.

L'étude de l'électricité n'est donc pas autre chose que l'étude des transformations de toutes les autres énergies en énergie électrique, et réciproquement.

Les *générateurs électriques* ou *sources d'électricité* se trouveront alors tout naturellement classés par la nature même de l'énergie qu'ils transforment. On en distingue trois classes :

1° Les *piles hydro-électriques* qui transforment l'*action chimique* en énergie électrique.

2° Les *piles thermo-électriques* qui transforment la *chaleur* en énergie électrique.

3° *Les machines magnéto et dynamo-électriques* qui transforment en énergie électrique l'énergie mécanique ou travail (1).

Pour étudier le courant lui-même, supposons-le produit par le générateur électrique le plus simple ; nous choisirons à cet effet l'élément simple ou pile de *Volta*.

Cet élément comprend trois parties :

1° Un corps attaqué (le zinc est presque exclusivement employé), qui formera le pôle *négalif* de la pile : c'est le combustible ;

2° Un liquide, de l'eau acidulée par l'acide sulfurique par exemple : c'est le comburant ;

3° Une lame inattaquable, cuivre, charbon ou platine, dont le rôle est de former le pôle positif de la pile en prenant la polarité du liquide par conductibilité.

La figure 1 représente un élément simple ainsi constitué : un vase en verre V, une lame de zinc Z, formant le pôle *négalif* de la pile, un liquide qui est de l'eau renfermant $\frac{1}{15}$ de son poids d'acide sulfurique, et une lame de cuivre C prenant, par conductibilité, la polarité du liquide pour former le pôle *positif*.

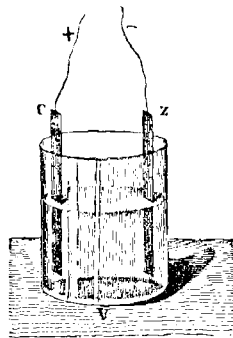


Fig. 1. — Élément simple.

En réunissant par un conducteur les deux lames Z et C, ce fil sera traversé par un *courant électrique*.

Négligeons pour un instant les phénomènes secondaires qui se produisent à l'intérieur de l'élément simple que nous venons de constituer, et étudions d'abord les propriétés de ce courant circulant dans le circuit extérieur.

Ce *courant* ou *flux* électrique circulant dans le conducteur qui relie le cuivre au zinc n'est pas visible, mais sa présence nous est révélée par certaines manifestations, par certaines actions produites dans le conducteur même ou dans son voisinage.

(1) Et non par *la force*, comme on le dit encore fort improprement.

Une aiguille aimantée placée parallèlement au fil tendra à se mettre en croix avec lui ; si le fil est fin, il chauffera, et pourra même devenir lumineux, etc.

Pour définir ce courant, nous devons considérer les éléments qui le constituent : on peut le comparer à un courant d'eau qui traverserait un tuyau sous une certaine pression. Dans cette assimilation, destinée uniquement à *matérialiser* le phénomène en quelque sorte, sans préjuger en rien la nature même du flux électrique, nous avons à considérer :

1° *Le sens du courant.* — Par convention, on admet que le flux d'électricité ou courant électrique circule dans le conducteur extérieur du cuivre (pôle *positif*, ou pôle +) au zinc (pôle *négatif*, ou pôle —).

2° *L'intensité du courant*, définie par la quantité d'électricité qui traverse le conducteur par unité de temps, et analogue au *débit* du courant d'eau qui nous sert de comparaison.

3° *La force électromotrice* (1), due à l'action chimique dans la pile, et en vertu de laquelle le courant électrique s'établit. Le courant circule en vertu d'une *différence de potentiel* ou de *niveau électrique*, comme l'eau circule dans un tuyau en vertu d'une *pression* ou d'une *différence de niveau*. La force électromotrice est donc la *cause*, la différence de potentiel l'*effet*. On emploie souvent un des mots l'un pour l'autre, par suite d'une substitution, assez fréquente dans le langage, de cause à effet, ou inversement.

4° *La résistance du circuit.* C'est l'obstacle plus ou moins grand qu'oppose le conducteur au passage du courant, eu égard à ses dimensions et à sa nature.

Loi de Ohm. — La loi qui relie la résistance du conducteur, la force électro-motrice et l'intensité du courant dans un circuit électrique, a été établie mathématiquement par *Ohm*, célèbre savant allemand, en 1827, et expérimentalement par le physicien français *Pouillet*.

(1) On l'appelait autrefois *tension*, mais le nom tend à disparaître.

Cette loi s'exprime par la formule suivante :

$$I = \frac{E}{R}$$

formule dans laquelle

I représente l'intensité du courant,

E, la force électro-motrice ou différence de potentiel aux deux extrémités du circuit,

R, la résistance électrique du circuit.

Cette formule se traduit ainsi en langage ordinaire : *L'intensité d'un courant sur un circuit électrique est proportionnelle à la force électro-motrice, et inversement proportionnelle à la résistance de ce circuit.*

LES UNITÉS ÉLECTRIQUES

UNITÉS C. G. S. — UNITÉS PRATIQUES.

Si l'on prend, avec *Stas*, comme caractéristique d'une science exacte le fait que la mesure, le poids et le calcul lui soient applicables, l'électricité peut aujourd'hui revendiquer hautement le titre de science exacte.

Les mesures électriques constituent un ensemble complet bien coordonné, et un système qui, grâce aux décisions du *Congrès international des Électriciens* tenu à Paris en 1881, est maintenant universellement adopté par toutes les nations civilisées.

Nous croyons donc utile d'exposer ici rapidement le système actuel d'unités électriques et de montrer comment ces unités dérivent par une succession logique de définitions, de trois unités fondamentales qui ont servi à les établir : *centimètre, gramme, seconde*, et qui ont donné le nom au système désigné sous le nom de SYSTÈME C. G. S., abréviation de *système centimètre-gramme-seconde*.

Les unités C. G. S. sont *fondamentales, dérivées* ou *pratiques*.

Les unités *fondamentales* sont au nombre de trois seulement ; toutes les autres s'en déduisent par définition et prennent le nom d'unités *dérivées* ; comme les grandeurs absolues des unités dérivées sont tantôt trop grandes, tantôt trop petites pour la pratique, et que leur emploi conduirait à de trop grands nombres ou de trop petites fractions, on a fait choix d'unités *pratiques* convenables. Le rapport entre

l'unité C. G. S. et l'unité pratique correspondante est toujours un multiple ou un sous-multiple de dix dont nous ferons connaître la valeur dans chaque cas. L'emploi des unités pratiques facilite les calculs, en dispensant de l'emploi de trop grands nombres, sans porter atteinte à la coordination du système.

Unités fondamentales. — Les unités qui servent de base au système C. G. S. sont au nombre de trois : 1° unité de longueur ; 2° unité de masse ; 3° unité de temps.

Unité de longueur. — L'unité C. G. S. de longueur est le *centimètre*. Sa valeur théorique est le centième du mètre défini comme étant la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre. L'unité pratique de longueur est le mètre représenté par des copies de l'étalon déposé à l'Observatoire de Paris.

Unité de masse. — L'unité C. G. S. de masse est la masse du *gramme*, ou masse d'un centimètre cube d'eau distillée à la température de 4 degrés centigrades.

Il importe de faire remarquer ici que l'unité fondamentale adoptée dans le système C. G. S. n'est pas le *poids* du gramme, mais bien la *masse* du gramme. La masse d'un corps est une quantité *constante*, tandis que le *poids* d'un corps varie avec la latitude et l'altitude du point où l'on se trouve. Au niveau de la mer, du pôle à l'équateur, les variations dépassent $\frac{1}{200}$ de la valeur moyenne. Cela explique pourquoi l'on a adopté la masse du gramme comme unité fondamentale au lieu du poids du gramme.

Unité de temps. — L'unité C. G. S. du temps est la *seconde*, définie comme étant la 86400^e partie du jour moyen. L'unité pratique de temps est, suivant les cas, la seconde, la minute ou l'heure.

Unités dérivées. — Toutes les autres unités se déduisent, par définition, des trois unités fondamentales. On les distingue en unités géométriques, mécaniques, magnétiques et électriques.

UNITÉS GÉOMÉTRIQUES.

Unité de surface. — L'unité C. G. S. de surface est la surface d'un carré d'un centimètre de côté et porte le nom de *centimètre carré*. L'unité pratique de surface est, suivant les cas, le millimètre carré, le centimètre carré, le mètre carré, l'are, l'hectare ou le kilomètre carré.

Unité de volume. — L'unité C. G. S. de volume est le volume d'un cube d'un centimètre de côté et porte le nom de *centimètre cube*.

COURANT ÉLECTRIQUE ET SA MESURE. — SOURCES D'ÉLECTRICITÉ.

L'unité pratique de volume est, suivant les cas, le millimètre cube, le centimètre cube, le décimètre cube ou *litre* ou le mètre cube.

UNITÉS MÉCANIQUES.

Unité de vitesse. — L'unité C. G. S. de vitesse est celle d'un corps se mouvant en ligne droite d'un mouvement uniforme et parcourant un espace de *un* centimètre en une seconde. Elle ne porte pas de nom spécial. En pratique, suivant les cas, la vitesse s'exprime tantôt en centimètres ou en mètres par seconde, tantôt en mètres par minute, tantôt enfin en kilomètres par heure.

Unité de force. — L'unité C. G. S. de force prend le nom de *dyne*. C'est la force qui, agissant sur la masse du gramme pendant une seconde, lui imprime une vitesse de un centimètre par seconde. En pratique l'emploi de la *dyne*, indispensable pour l'établissement des unités magnétiques et électriques, n'a pas prévalu, et l'on exprime les forces en *grammes*. Il importe donc de connaître la relation qui lie l'unité C. G. S. de force ou *dyne*, à l'unité pratique ou *gramme*.

Lorsqu'un corps tombe dans le vide, à Paris, la pesanteur lui imprime, au bout de la première seconde, une vitesse de 981 centimètres par seconde environ (1).

Par définition, la force qui agit sur l'unité de masse de ce corps est donc de 981 dynes. Il en résulte qu'à Paris, lorsqu'on mesure les forces en les rapportant aux poids, la force de un gramme est égale à 981 dynes, et que la dyne est égale au $\frac{1}{981}$ du poids du gramme. A l'équateur le poids du gramme n'est plus que de 978,1 dynes, tandis qu'au pôle il est de 983,11 dynes. Dans les latitudes d'environ 50 degrés qui correspondent à l'Europe centrale, on admet que la force représentée par le poids du gramme est égale à 981 dynes. On se trouve donc ainsi ramené à exprimer, *en pratique*, les forces en poids.

Unité de poids. — L'unité pratique de poids est le gramme, force nécessaire pour soutenir, dans le vide, une masse de un centimètre cube d'eau à 4 degrés, et dont la valeur à Paris est de 981 dynes. On fait usage, suivant les cas, des multiples et sous-multiples du gramme : milligramme, gramme, kilogramme et tonne métrique.

Unité de travail. — L'unité C. G. S. de travail prend le nom d'*erg*. C'est le travail produit par une force de 1 dyne agissant sur une distance de 1 centimètre. On pourrait l'appeler le *centimètre-dyne*. Pas plus que l'unité C. G. S. de force, son emploi n'a prévalu dans la pra-

(1) Le chiffre exact est 980,94 centimètres.

tique. L'unité pratique de travail est, suivant les cas, le *centimètre-gramme*, le *mètre-gramme* ou *grammètre* et le *kilogrammètre*. Les noms suffisent pour indiquer les valeurs respectives de ces unités. Il existe entre l'erg et le centimètre-gramme le même rapport qu'entre la dyne et le gramme :

$$\text{Un centimètre-gramme} = 981 \text{ ergs.}$$

Lorsqu'on veut exprimer des kilogrammètres en ergs, les nombres dont il faut faire usage sont beaucoup trop grands, on se sert alors du *meg-erg* qui vaut 1 000 000 d'*ergs*.

$$\text{Le kilogrammètre} \dots = 98,1 \text{ meg-ergs.}$$

Bien que le *cheval-vapeur* ne soit pas indispensable pour définir les unités électriques, comme il constitue une unité de travail fréquemment employée dans la pratique, il convient de donner sa valeur en unités C. G. S.

Le travail dépensé ou produit par une machine s'exprime en *kilogrammètres par seconde* ou en *chevaux-vapeur*. Le cheval-vapeur représente un travail de 75 kilogrammètres par seconde, c'est-à-dire de $75 \times 981 = 7360$ meg-ergs par seconde.

UNITÉS MAGNÉTIQUES.

Unité de pôle magnétique. — Le pôle magnétique dont l'intensité est égale à une unité C. G. S. est celui qui repousse un pôle semblable placé à une distance de 1 centimètre avec une force de une dyne. Elle ne porte pas de nom spécial et, jusqu'ici, on n'a pas fait choix d'une unité pratique autre que l'unité C. G. S, ainsi définie.

L'intensité d'un champ magnétique se mesure par la force que le champ exerce sur l'unité de pôle magnétique.

Unité d'intensité d'un champ magnétique. — L'intensité d'un champ magnétique est égale à une unité C. G. S. lorsque, dans ce champ, la force qui agit sur une unité de pôle est égale à une dyne.

UNITÉS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

Unité d'intensité de courant. — Un courant a une intensité égale à une unité C. G. S. lorsque, traversant un circuit de 1 centimètre de longueur roulé en forme d'arc de 1 centimètre de rayon, il exerce une force de une dyne sur un pôle magnétique d'une unité placée à son centre.

On voit par cette définition qu'il fallait établir auparavant la valeur des unités mécaniques et magnétiques pour définir l'unité d'intensité de courant. Elle ne porte pas de nom spécial. L'unité pratique est égale à $1/10$ de l'unité C. G. S. et prend le nom d'*Ampère*.

Unité de quantité. — L'unité C. G. S. de quantité est la quantité d'électricité qui traverse un circuit pendant une seconde lorsque l'intensité du courant est égale à une unité. L'unité pratique de quantité est égale à $1/10$ de l'unité C. G. S. et se nomme *Coulomb*. C'est la quantité d'électricité qui traverse un circuit pendant une seconde lorsque l'intensité du courant est de un ampère.

Unité de force électromotrice ou de potentiel. — Lorsqu'une certaine quantité Q d'électricité traverse un conducteur sous l'influence d'une force électromotrice ou pression électrique E , le travail produit est égal à la quantité d'électricité qui traverse ce circuit multipliée par la force électromotrice en vertu de laquelle l'écoulement électrique se produit.

Ceci posé, l'unité C. G. S. de force électromotrice est celle qui est nécessaire pour que l'unité C. G. S. de quantité développe dans le circuit un travail égal à un erg.

L'unité C. G. S. de force électromotrice est donc une quantité très petite. Pour éviter l'emploi de trop grands nombres en exprimant les forces électromotrices en unités C. G. S. le comité de l'Association Britannique et, après lui, le Congrès international des électriciens ont adopté comme unité pratique le *volt* qui vaut cent millions d'unités C. G. S. On a ainsi une unité pratique dont la valeur est comparable à celle des éléments de pile en usage journalier, puisque la pile Daniell a une force électromotrice de 1,079 volt.

Unité de résistance. — Un conducteur a une résistance égale à une unité C. G. S. lorsqu'une différence de potentiel ou de pression électrique égale à une unité C. G. S. entre ses deux extrémités fait circuler dans ce conducteur un courant d'une unité d'intensité.

L'unité C. G. S. a une valeur très petite, l'unité pratique qui porte le nom de *Ohm* vaut mille millions d'unités C. G. S.

Unité de capacité. — Un condensateur a une capacité égale à une unité C. G. S. lorsque, chargé avec une force électromotrice égale à une unité C. G. S., il renferme une quantité d'électricité égale à une unité C. G. S. Cette unité est beaucoup trop grande pour la pratique, aussi a-t-on donné le nom de *farad* à une unité mille millions de fois plus petite. En pratique, on ne fait usage que du *microfarad* qui est lui-même égal à un millionième de farad.

Les cinq grandeurs électriques dont nous venons de donner les définitions se distinguent par un symbole dont l'adoption tend à devenir

générale et dont l'emploi facilite beaucoup la lecture des formules dans lesquelles figurent ces grandeurs.

Les quantités électriques, les noms qui désignent les unités pratiques de mesure de ces quantités et les symboles qui les représentent sont réunis dans le tableau suivant :

Quantités électriques.	Noms des unités pratiques.	Symboles.
Résistance.....	<i>Ohm.</i>	R.
Force électromotrice.....	<i>Volt.</i>	E.
Intensité.....	<i>Ampère.</i>	I.
Quantité.....	<i>Coulomb.</i>	Q.
Capacité.....	<i>Farad.</i>	C.

Voici maintenant quelques chiffres qui permettent de se faire, *grosso modo*, une idée des grandeurs matérielles des unités pratiques.

La résistance de *un ohm* est égale à celle d'une colonne de mercure pur de 1 millimètre carré de section et d'environ 103 centimètres de longueur (1). Un fil de cuivre pur de 48 mètres de longueur et de 1 millimètre de diamètre a aussi une résistance sensiblement égale à *un ohm*. Il en est de même d'un fil de fer de 4 millimètres de diamètre et de 100 mètres de longueur.

La force électromotrice de *un volt* est à peu près celle d'un élément Daniell ordinaire. Un élément Bunsen a une force électro-motrice de 1,9 volt et un élément secondaire de M. Gaston Planté, une force électromotrice de 2,1 volts.

Un courant a une intensité d'*un ampère* lorsqu'il traverse un conducteur de 1 ohm de résistance avec une force électromotrice de 1 volt.

Ainsi, par exemple, en fermant une pile secondaire Planté, dont la résistance est négligeable, sur un circuit composé de 100 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre, le courant qui traverse ce circuit sera d'environ *un ampère*. C'est à peu près l'intensité du courant qui alimente les lampes à incandescence d'Edison. Les courants télégraphiques sont beaucoup plus faibles et ne dépassent guère 1 centième d'ampère. Un arc voltaïque moyen fonctionne avec des courants de 10 à 25 ampères. Enfin, dans les applications métallurgiques, on fait usage de courants dont l'intensité dépasse quelquefois *mille* ampères, tandis que les courants téléphoniques se chiffrent au contraire par des *millionnièmes* d'ampère.

(1) Une commission internationale sera chargée de déterminer, pour la pratique, la longueur exacte de cette colonne de mercure. Le chiffre admis aujourd'hui est 101,73 centimètres.

Il existe entre l'unité de quantité électrique ou *coulomb* et l'unité d'intensité ou *ampère* la même relation qu'entre l'unité de volume exprimée en *litres* et l'unité de débit exprimée en *litres par seconde*.

Le *coulomb* est la quantité d'électricité qui traverse un conducteur pendant une seconde lorsque l'intensité est de 1 *ampère*, et réciproquement un courant de 1 ampère fait circuler dans un conducteur un coulomb d'électricité par seconde.

Cette distinction est très importante surtout dans les décompositions électro-chimiques. Il résulte des expériences de Weber, dont M. Mascart a récemment vérifié l'exactitude, qu'il faut faire passer 96 coulombs d'électricité dans un voltamètre pour décomposer 9 milligrammes d'eau et produire 1 milligramme d'hydrogène, ou déposer 31,5 milligrammes de cuivre dans une cuve électrolytique. Plus le courant sera intense, moins il faudra de temps pour produire la décomposition. Si l'intensité du courant est de 1 ampère, il faudra 96 secondes pour produire 1 milligramme d'hydrogène, et une seconde seulement si l'intensité du courant est de 96 ampères.

Les mots *ampères* et *coulombs par seconde* ont donc la même signification, et l'on peut dire indifféremment qu'un arc voltaïque a besoin pour fonctionner normalement d'un courant de 20 ampères ou d'un courant de 20 coulombs par seconde.

L'idée de quantité nous conduit tout naturellement à celle de capacité et à l'unité de capacité ou *farad*.

Un condensateur a une capacité de 1 farad lorsqu'il renferme un coulomb d'électricité avec une force électromotrice de 1 volt. Il n'existe pas de condensateur ayant cette capacité, et l'unité pratique ordinairement employée est le *microfarad* qui en est la millionième partie. Un condensateur de 1 microfarad chargé avec une pile Daniell de 1 élément renfermera donc une quantité d'électricité égale à environ 1 millionième de coulomb.

Telles sont les cinq unités électriques employées dans la pratique. Lorsqu'elles sont trop grandes ou trop petites par rapport aux quantités mesurées, on les fait précéder de préfixes qui désignent les multiples ou sous-multiples.

La préfixe <i>méga</i> ou <i>meg</i> désigne..	4 000 000	de fois l'unité.
— <i>kilo</i> désigne.....	1000	fois l'unité.
— <i>milli</i> désigne.....	$\frac{1}{1000}$	de l'unité.
— <i>micro</i> ou <i>micr.</i>	$\frac{1}{4\,000\,000}$	de l'unité.

C'est ainsi que les grandes résistances s'expriment en *megohms*, les petites en *microhms*, les intensités des courants télégraphiques en *milli-ampères*, les capacités des condensateurs et des câbles sous-marins en *microfarads*, etc.

Loi de Faraday. — La loi qui lie l'intensité d'un courant à la quantité d'électricité qui traverse un circuit est due à Faraday et s'exprime par la formule :

$$Q = It.$$

La quantité d'électricité qui traverse un circuit est proportionnelle à l'intensité du courant et au temps de passage. Lorsque l'intensité est exprimée en *ampères* et le temps en *secondes*, la quantité d'électricité est donnée en *coulombs*.

Loi de Joule. — La loi découverte par le célèbre physicien *Joule* s'exprime par la formule :

$$W = I^2Rt.$$

La quantité de chaleur ou de travail W développée dans un circuit électrique est proportionnelle au carré de l'intensité du courant I, à la résistance du circuit R et au temps t.

En remplaçant R par sa valeur tirée de la formule de Ohm, on trouve :

$$W = IE.$$

Le travail est proportionnel à l'intensité du courant et à la force électromotrice. Nous retrouvons encore ici l'analogie avec les cours d'eau pour lesquels le travail est proportionnel au volume et à la pression ou hauteur de chute.

Lorsque I est en ampères et E en volts, on a :

$$W = \frac{IE}{9,81} \text{ kilogrammètres par seconde.}$$

Sir William Siemens a proposé, en septembre 1882, de donner le nom de *watt* au travail représenté par un courant de 1 ampère agissant avec une force électromotrice de 1 volt; cette unité d'énergie électrique tend à être généralement adoptée et la formule de Joule s'écrit :

$$W = EI \text{ watts.}$$

Nous avons tout particulièrement insisté ici sur les définitions des unités C. G. S., parce qu'elles constituent la base de la science électrique moderne, et parce que, sans elles, il est impossible de comprendre et d'apprécier les découvertes récentes, et de suivre les progrès incessants et rapides de cette branche importante de la physique.

CHAPITRE PREMIER

PILES HYDRO-ÉLECTRIQUES

Le nombre des appareils qui transforment l'énergie chimique en énergie électrique est aujourd'hui si considérable qu'il faudrait un volume entier pour les passer en revue. Aussi nous contenterons-nous d'indiquer ici à grands traits les principaux types, en nous attachant surtout à ceux de construction récente.

Piles à un seul liquide. — Depuis l'élément de *Volta*, on a construit un grand nombre de piles à un seul liquide ; la pile à couronne de tasses, la pile de *Cruikshank*, celle de *Wollaston*, la pile en hélice, la pile de *Muncke*, ne sont que des modifications du principe fécond découvert par le physicien italien.

La polarisation rapide de ces éléments les a fait abandonner à peu près complètement dans la pratique ; ils sont d'ailleurs décrits dans tous les traités de physique.

Dans certaines piles à un seul liquide, le cuivre a été remplacé par des électrodes d'autres substances.

En 1849, *M. Walker* employa des électrodes de charbon, d'autres employèrent le fer comme électrode inattaquée.

En 1840, un physicien anglais, *Smée*, indiqua le platine platiné pour faciliter le dégagement des bulles d'hydrogène ; *Walker* le remplaça, en 1857, par du charbon platiné : sous cette forme, la pile à un seul liquide est encore très employée en Angleterre pour le service des chemins de fer.

Aujourd'hui, dans les piles à un seul liquide, on entoure l'électrode négative ou pôle positif de substances de nature à faciliter le dégagement de l'hydrogène ou sa combinaison avec l'oxygène.

Dans d'autres piles à un seul liquide, on fait varier la nature du liquide. On a employé l'acide chlorhydrique, mais sans succès; l'acide nitrique qui est trop cher et qui, comme l'acide chlorhydrique, dégage des vapeurs nuisibles; M. *Pulvermacher* a employé l'acide acétique pour exciter ses chaînes galvaniques.

Indépendamment des liquides acides, on a fait usage du sel marin; les piles zinc-charbon et sel marin sont encore très employées en Suisse pour les sonneries d'appartement.

Dans sa bouée électrique M. *Duchemin* emploie l'eau de mer; la pile *Bagration*, le sel ammoniac; M. *Stöhrer*, une solution d'alun, etc., etc.

Quel que soit le choix habile de liquide et d'électrode que l'on puisse faire, et le nombre de ces combinaisons est pour ainsi dire infini, il est fort douteux qu'on y revienne dans l'avenir, sous réserve des piles à mélanges dépolarisants dont nous décrirons quelques types.

Polarisation des piles, piles à deux liquides. — Reprenons notre élément simple de la figure 1, constitué par une lame de zinc, une lame de cuivre et de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique. Si nous fermons le courant de cette pile sur un galvanomètre peu résistant, nous produirons une déviation qui ira en s'affaiblissant jusqu'à devenir presque nulle dans certaines conditions. Cet affaiblissement de l'intensité du courant, quelles que soient les causes qui le produisent, prend le nom de *polarisation*.

La polarisation de la pile tient à plusieurs causes dont voici les principales. L'impureté du zinc, en créant de petits couples secondaires au sein même du zinc, est une cause qui tend à diminuer la force électromotrice du couple. Kemp proposa en 1839 l'emploi du zinc amalgamé qui fit disparaître cet inconvénient, et, à la même époque, Grove lut un mémoire à l'Académie des sciences pour expliquer l'importance du zinc amalgamé

dans les piles. Aujourd'hui on amalgame les zincs de toutes les piles. L'appauvrissement du liquide par l'action chimique tend aussi à affaiblir le courant, en partie par l'affaiblissement de l'action chimique, et en partie par l'augmentation de résistance opposée par le liquide au passage du courant.

Le transport du zinc sur le cuivre par le courant tend aussi à diminuer son intensité, parce que le cuivre recouvert de zinc et attaqué par l'acide de l'élément produit un nouveau courant en sens inverse du courant principal.

Mais la cause la plus puissante de la polarisation est le dépôt d'hydrogène qui s'effectue sur le cuivre.

L'oxydation du zinc et sa transformation en sulfate de zinc ont pour effet de produire une certaine quantité d'hydrogène qui se dépose sur la lame électro-négative (cuivre, platine ou charbon). Ce dépôt de gaz sur la lame de cuivre oppose un obstacle matériel à la transmission du courant par les bulles de gaz. D'autre part, cet hydrogène constitue avec l'oxygène dégagé sur l'autre électrode une sorte de pile à gaz, et produit une force électromotrice inverse de la première. Une pile théoriquement parfaite dans laquelle on pourrait faire disparaître toutes ces causes de polarisation fournirait un courant *constant*, et mériterait véritablement le nom de *pile constante*. En pratique, on donne le nom de piles constantes à toutes les combinaisons voltaïques qui ont pour but d'empêcher ou de diminuer le dépôt d'hydrogène sur la lame électro-négative. Nous verrons, en passant en revue les piles actuellement en usage, les différents procédés par lesquels on réalise plus ou moins ce desideratum.

Conditions théoriques d'une pile parfaite. — Voici, d'après M. Fleeming-Jenkin, les conditions essentielles qu'une telle pile devrait remplir :

- 1° Elle devrait posséder une grande force électromotrice ;
- 2° Elle devrait avoir une résistance intérieure faible et constante ;
- 3° Sa force électromotrice devrait être constante quelle que soit l'intensité du courant produit ;

- 4° Les matières employées devraient être à bon marché ;
 5° La pile ne devrait rien dépenser lorsqu'elle ne produit pas de courant, c'est-à-dire lorsqu'elle est en circuit ouvert ;
 6° Sa disposition devrait être telle que l'on puisse vérifier facilement son état, son fonctionnement et ajouter des substances nouvelles lorsqu'elles sont nécessaires.

Aucune pile connue ne réalise toutes ces conditions au plus haut degré. Les exigences spéciales à chaque application doivent guider dans le choix d'un élément convenable pour l'usage qu'on se propose d'en faire.

Piles à deux liquides à sulfate de cuivre. — L'emploi du sulfate ou de l'azotate de cuivre comme dépolarisant fut indiqué pour la première fois par *Becquerel*, en 1829, à la suite de longues et nombreuses expériences. Les résultats obtenus furent très satisfaisants et il s'en servit toujours depuis cette époque.

C'est seulement en 1836 que *Daniell* imagina la pile qui porte son nom. Les piles *Becquerel* et *Daniell* ne différaient que par la nature de la cloison poreuse, qui était en baudruche dans la pile de *Daniell*, et en kaolin dans l'élément *Becquerel*, auquel on substitua plus tard des vases poreux en terre de pipe dégourdie.

Tout le monde connaît la disposition de l'élément *Daniell*, nous n'y reviendrons pas. Sa force électro-motrice est de 1,079 volt, lorsque l'acide sulfurique est étendu de quatre fois son poids d'eau, et sa résistance intérieure varie, suivant la grandeur des éléments, leur état, etc., entre 1 et 20 ohms. Cependant quelques piles médicales, dont les dimensions sont très petites, pour qu'elles soient facilement transportables, ont jusqu'à 100 et même 200 ohms de résistance intérieure.

On a donné un grand nombre de formes à la pile *Daniell*.

On a construit des piles à ballon, des piles à cuivre extérieur, des piles à auges. La pile *Daniell* à auges construite par *M. Muirhead* est très employée en Angleterre, et le Post-Office de Londres en a plus de 20 000 pour son service télégraphique.

M. Carré a construit une pile *Daniell* dans laquelle le vase poreux était remplacé par un vase de papier parcheminé qui dimi-

nuait considérablement la résistance intérieure de la pile et a permis de faire de la lumière électrique avec 60 éléments.

M. *Minotto*, de Venise, a imaginé une pile à sable très employée en Italie et dans l'Inde anglaise : la séparation des deux liquides provient de leur différence de densité ; le zinc et le cuivre sont formés de deux disques plats horizontaux, le cuivre en dessous. Le sulfate de cuivre est séparé du sable par une feuille de papier buvard ou un morceau de toile. Cette pile offre une assez grande résistance intérieure, mais rend d'excellents services en télégraphie.

M. *Trouvé* a modifié la pile Daniell, dans le but de l'appliquer aux usages médicaux, en la construisant sans liquide, ou du moins sans liquide libre pouvant se renverser ou fuir des vases qui le contiennent.

Pile Callaud. — L'idée de séparer les deux liquides de la

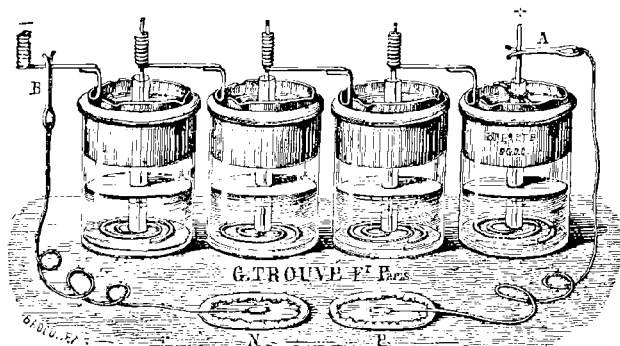


Fig. 2. — Pile Callaud, modèle Trouvé.

pile Daniell en se fondant sur leur différence de densité a été trouvée en même temps par MM. *Callaud* en France, et *Meidinger* en Allemagne. Il en existe actuellement un très grand nombre de modèles. Celui que nous représentons (fig. 2) présente une très grande simplicité, et par suite un bon marché en rapport avec cette simplicité. Le vase de verre n'a que 12 centimètres de haut et 7 de diamètre. Le zinc est retenu par trois saillies ou plis faits

avec une pince. Le cuivre est formé par une spirale de fil de cuivre plate qui se relève verticalement au milieu du vase ; cette partie verticale est protégée par un petit tube de verre. La liaison des éléments a lieu au moyen d'un petit boudin qui termine le fil de cuivre soudé au zinc et dans lequel s'engage le fil de cuivre qui constitue le rhéophore de l'élément suivant.

Pour les applications médicales des courants continus, M. *Onimus* emploie une pile de petites dimensions dans laquelle le vase poreux est un tube de verre fermé par une bourre et renfermant le sulfate de cuivre. M. *J. Seure*, de Saint-Germain-en-Laye, se sert de tubes en U dont la partie inférieure est remplie par de la silice formant cloison poreuse. Ce sont là des piles à grande résistance intérieure et, par suite, à faible débit.

Pile de sir William Thomson. — Cette pile à grande surface est formée par des auges en bois doublées de plomb à l'intérieur. La plaque de cuivre est au fond, et le zinc, en forme de grille, repose sur des tasseaux de bois ; les plaques zinc et cuivre sont ainsi très rapprochées, la pile a donc une très faible résistance qui ne dépasse pas 0,1 *ohm*. C'est, au contraire des piles médicales, une pile à grand débit.

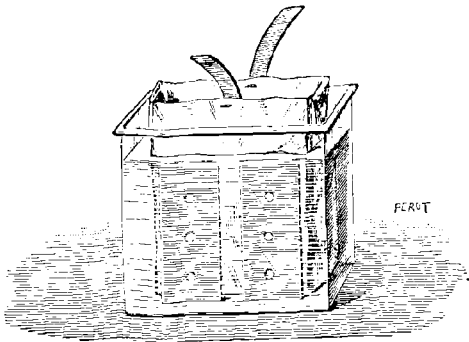


Fig. 3. — Pile de M. E. Reynier.

Pile de M. E. Reynier. — Dans cette pile le dépolarisant est toujours le sulfate de cuivre, mais le zinc plonge dans une solution de soude caustique additionnée d'une dizaine d'autres sels qui rendent sa composition fort complexe. Le vase poreux est en parchemin, le zinc dans le vase poreux, le cuivre à l'extérieur. Dans le modèle plat représenté ci-contre (fig. 3), dont la hauteur est

de 20 centimètres et la capacité de 3 litres, la force électromotrice initiale est 1,47 volt, la résistance intérieure 0,075 ohm.

Piles à sulfates. — On a constitué des piles dans lesquelles le sulfate de cuivre et la lame de cuivre sont remplacés par une

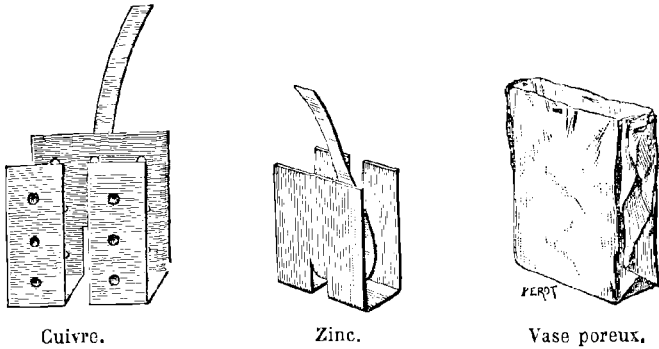


Fig. 4. — Détails de la pile Reynier.

lame d'un autre métal et le sulfate correspondant; mais ces appareils n'ont, pour la plupart, aucun intérêt pratique. La plus importante est celle au sulfate de mercure de *Marié-Davy*. Le sulfate de cuivre est remplacé par le sulfate de mercure et la lame de cuivre par une plaque de charbon. L'action chimique est analogue à celle de la pile Daniell, sauf que le sulfate de mercure est à peu près insoluble. On a aussi employé des piles à

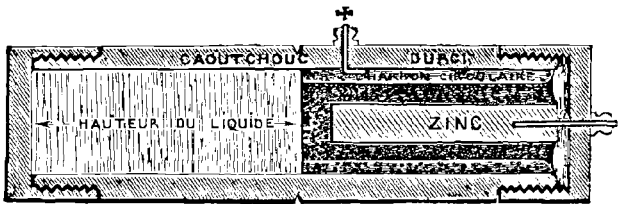


Fig. 5. — Pile hermétique de M. Trouvé.

sulfate de mercure sans vase poreux, et dans la pile à renversement de *M. Trouvé*, c'est la dissolution de mercure qui forme à la fois le dépolarisant et le comburant.

Pile hermétique au bisulfate de mercure de M. Trouvé. — La pile représentée en grandeur naturelle (fig. 5) est formée

d'un couple zinc-charbon renfermé dans un étui d'*ébonite* ou caoutchouc durci, fermé hermétiquement. Le zinc et le charbon n'occupent que la moitié supérieure de l'étui, l'autre moitié est occupée par le liquide excitateur, qui est une solution de sulfate de protoxyde de mercure. Tant que l'étui est vertical, le zinc en haut, le couple ne plonge pas dans le liquide, il n'y a donc pas de production d'électricité; en renversant l'étui, on immerge le zinc et le charbon circulaire, le courant se produit aussitôt pour cesser dès qu'on redresse l'étui. De là le nom de *pile à renversement* donné aussi à ce petit appareil.

MM. *Gaiffe* et *Ruhmkorff* emploient aussi des piles à sulfate de mercure à un seul liquide pour exciter les bobines d'induction de leurs petits appareils médicaux de poche.

Piles à sulfate de plomb. — Le sulfate de plomb a été employé pour la première fois par *Becquerel*, puis en 1860 par *Marié-Davy* qui donna à l'élément la forme de la pile Daniell sans vase poreux de sir William Thomson. M. Edmond *Becquerel* a ramené la pile à la forme habituelle des éléments de Daniell.

Aujourd'hui ces piles sont abandonnées, à cause de l'énorme résistance intérieure des éléments.

Piles à acides. — La première pile à acide nitrique comme dépolarisant date de 1839 et est due à un éminent physicien anglais, *Grove*. Dans la pile de *Grove*, l'électrode négative ou pôle positif est constituée par une lame de platine placée dans une solution d'acide azotique concentré plongeant dans le vase poreux. *Grove* avait proposé de remplacer le platine par du charbon de bois ou de cornue, mais il ne donna pas suite à cette idée qui fut reprise, en 1843, par un physicien allemand, *Bunsen*, de Heidelberg.

Toutes les piles *Bunsen* construites jusqu'en 1849 étaient faites avec du charbon aggloméré moulé en cylindre creux placé avec l'acide dans le cylindre extérieur, et le zinc placé à l'intérieur du vase poreux.

C'est seulement en 1849 que M. *Archeveau* imagina d'employer du charbon de cornue taillé en prisme et placé dans le

vase poreux avec le zinc *roulé* placé à l'extérieur. De sorte que la pile connue universellement sous le nom de pile Bunsen est bien réellement l'invention de M. Archereau.

La pile Bunsen a reçu depuis une foule de modifications qui n'ont pu faire abandonner le type primitif imaginé par Archereau.

Ruhmkorff a cependant construit une pile Bunsen à éléments plats qui présente deux avantages, une petite résistance intérieure due au rapprochement et à la grande surface des électrodes, et un faible volume d'acide nitrique, à cause du peu d'épaisseur et de capacité du vase poreux dont le charbon, formé d'une large plaque, occupe environ le tiers.

On a aussi essayé comme dépolarisant les acides chlorique, chromique, chlorhydrique, l'eau régale, etc., mais la pratique n'a pas sanctionné l'emploi de ces piles, qui sont restées jusqu'ici à l'état d'expériences de laboratoire.

Piles à oxydes. — Puisque la dépolarisation dans les piles s'opère par l'oxydation de l'hydrogène, on peut obtenir ce résultat en employant des oxydes faciles à décomposer.

De la Rive a employé le peroxyde de plomb et le peroxyde de manganèse, il y a plus de trente ans déjà, mais ses piles ne furent pas mises en usage et étaient tombées dans l'oubli, lorsque M. Leclanché imagina la pile qui porte son nom et qui est aujourd'hui universellement employée.

Pile au peroxyde de manganèse de M. Leclanché. — Dans les premiers modèles, le charbon était placé au milieu du vase poreux rempli d'un mélange à parties égales de peroxyde de manganèse et de charbon de cornue. Le zinc est placé dans le vase extérieur rempli à moitié d'une solution de chlorhydrate d'ammoniaque.

Dans le nouveau modèle (fig. 6), le vase poreux est supprimé. On applique contre le charbon, à l'aide de jarretières en caoutchouc, des *agglomérés* formés d'un mélange de 40 parties de pyrolusite, 55 de charbon et 5 de résine gomme-laque comprimé à 300 atmosphères et chauffé en même temps à 100°.

Suivant la puissance de la pile, on met un, deux ou trois agglomérés contre le charbon. Le modèle de la figure 6 appliqué aux sonneries ordinaires en a deux. Pour les allumeurs électriques, on emploie, pour diminuer la résistance intérieure, des lames de zinc au lieu de crayons.

L'action chimique n'a lieu que lorsque le circuit est fermé. La force électro-motrice varie entre 1, 4 et 1, 5 volt.

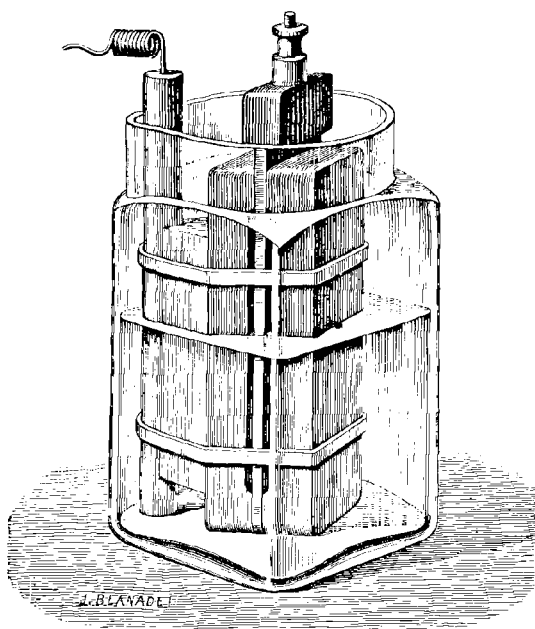


Fig. 6. — Pile Leclanché à agglomérés.

La pile Leclanché ne contient pas de substances vénéneuses, ne répand pas de vapeurs acides ni d'odeur appréciable, les matières qu'elle emploie sont d'un prix peu élevé et résistent aux froids les plus intenses.

La dépolarisation obtenue par le bioxyde de manganèse n'est cependant pas complète, et, en court circuit, la force électro-motrice baisse assez vite. Mais la pile se dépolarise très rapidement en circuit ouvert.

Pour les sonneries d'appartement, les piles Leclanché peuvent durer quatre et cinq années, sans autre préoccupation que celle d'ajouter de temps en temps un peu d'eau dans le vase en verre, pour remplacer celle qui se perd par l'évaporation.

Pile au sesquioxyde de fer et au chlorhydrate d'ammoniaque de MM. Clamond et Gaiffe. — Cette pile ne diffère de celle de M. Leclanché que par la substitution de l'oxyde de fer à l'oxyde de manganèse. Lorsque le circuit est fermé, le chlorure d'ammonium ou chlorhydrate d'ammoniaque attaque le zinc et forme avec lui du chlorure double d'ammonium et de zinc ; l'ammonium mis en liberté se porte sur le sesquioxyde de fer qu'il décompose en s'emparant d'une partie de son oxygène et forme avec ce dernier de l'ammoniaque libre qui disparaît par l'évaporation.

Cet élément, représenté figure 7, se compose d'un vase en verre, d'un prisme de charbon C, aggloméré et poreux, contenant le sesquioxyde de fer dans ses pores, et d'une baguette de zinc amalgamé Z. Un bouchon mastiqué ferme le vase et empêche l'évaporation du liquide qui est une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque.

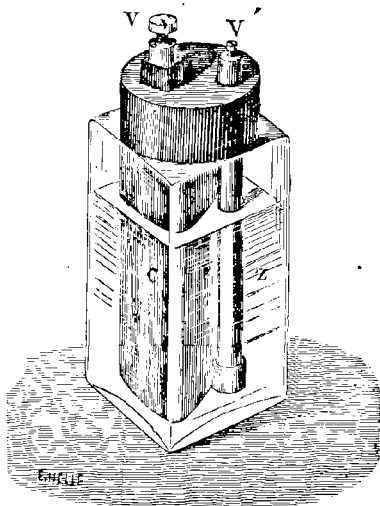


Fig. 7. — Pile Clamond et Gaiffe.

La force électro-motrice du couple est de 1,2 volt ; il peut être employé pour les batteries médicales à courant continu, et les sonneries électriques, mais son énorme résistance intérieure en fait une source électrique peu puissante.

Pile à oxyde de cuivre de MM. de Lalande et Chaperon. — Dans cette nouvelle pile, le liquide est une solution de potasse à 30 ou 40 pour 100, et le dépolarisant du bioxyde de

cuivre mis en contact direct avec une lame de cuivre ou de fer comme dépolarisant. Grâce au choix des produits, la pile peut travailler en un circuit fermé sans polarisation notable et presque jusqu'à complet épuisement des produits : la transformation de la potasse en zincate alcalin et la réduction progressive de l'oxyde de cuivre s'opèrent sans que les constantes varient sensiblement.

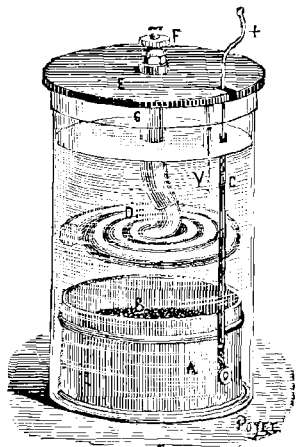


Fig. 8. — Pile à oxyde de cuivre, modèle ordinaire.

La figure 8 représente la forme de l'élément ordinaire ; la figure 9, celle de l'élément à grand débit dont les dimensions seules limitent la puissance. A est un vase en tôle de fer brasé sur les arêtes verticales formant l'électrode positive, le fond est recouvert d'une couche d'oxyde de cuivre ; la plaque de zinc D est supportée par des isolateurs en porcelaine L. Le vase A est rempli d'une solution de potasse et recouvert d'une mince couche de pétrole lourd pour empêcher la carbonatation de la potasse. La pile présentant une grande constante et ne consom-

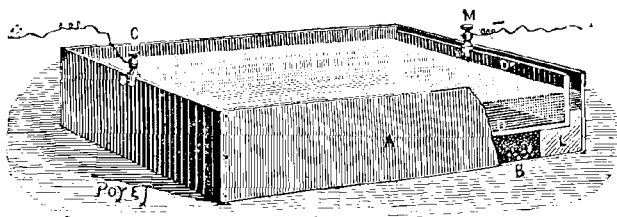


Fig. 9. — Pile à oxyde de cuivre, modèle à grand débit.

mant les matières actives qu'en proportion du travail fourni convient également bien à un travail continu ou intermittent. Le débit s'obtient par l'augmentation de la surface active, et la durée de fonctionnement par les quantités plus ou moins

grandes de potasse, d'oxyde de cuivre et de zinc introduites dans l'élément de dimensions appropriées.

Piles à chlorures. — Dans ces piles, on effectue la dépolariation par le chlore au lieu de l'effectuer par l'oxygène.

Nous signalons seulement pour mémoire la pile au chlorure de platine indiquée par *Daniell*, qui, d'une grande valeur au point de vue théorique, serait trop coûteuse en pratique.

Pile au chlorure d'argent de M. Warren de la Rue.

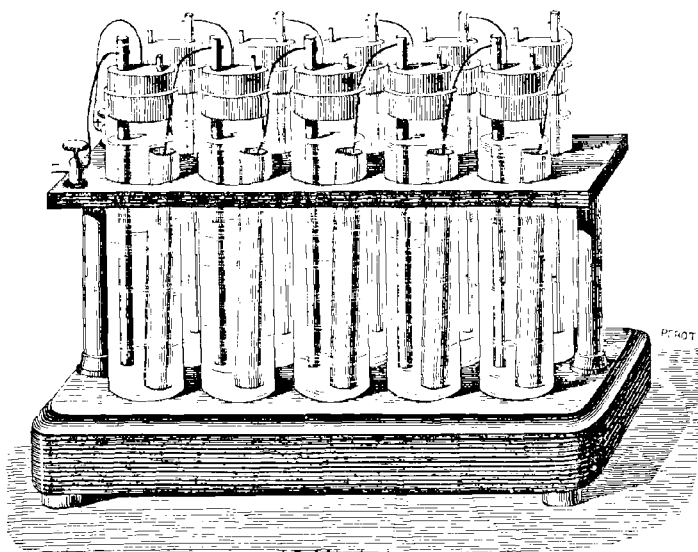


Fig. 10. — Pile de M. Warren de la Rue.

— C'est M. *Marié-Davy* qui s'est servi le premier du chlorure d'argent comme dépolarisant, en 1860, mais M. *Warren de la Rue* en fait usage dans sa pile depuis 1868, et les perfectionnements qu'elle a reçus depuis cette époque sont dus aux recherches faites par ce savant sur les courants de haute tension.

La figure 10 représente l'ensemble d'un groupe de dix éléments montés en tension, et la figure 11, les différentes parties qui constituent chaque élément.

Le vase extérieur est un cylindre de 13 centimètres de long et

de 3 centimètres de diamètre ; l'électrode soluble est un crayon de zinc *non amalgamé* (c'est une rare exception à l'emploi du zinc amalgamé). M. de la Rue emploie de préférence le zinc de la Vieille-Montagne, à cause de sa bonne qualité : un trou percé à la partie supérieure de ce crayon de zinc sert à recevoir le pôle positif de l'élément suivant, le contact est assuré par une petite goupille de laiton C légèrement conique. La seconde électrode est formée d'un ruban d'argent autour duquel on a fait fondre un cylindre de chlorure d'argent AgCl. Ce bâton

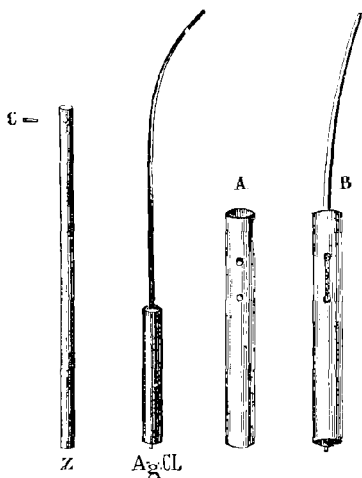


Fig. 11. — Détails d'un élément de la pile Warren de la Rue.

de chlorure d'argent est placé dans un petit cylindre de papier-parchemin A qui évite les contacts accidentels.

Le liquide est une solution de 23 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque pour un litre d'eau. Le vase extérieur est fermé par un bouchon de paraffine qui est un des meilleurs isolants connus et qui, par le fait qu'elle est anti-hygroscopique, empêche l'eau qui pourrait être répandue à sa surface de s'étaler et d'établir des dérivations nuisibles.

L'action est fort simple : le zinc se dissout et remplace l'argent dans le chlorure ; l'argent provenant de la décomposition se dépose en une masse poreuse, d'abord à la surface, puis peu à peu dans la masse du chlorure d'argent. Cette pile ne donne lieu à aucune action locale tant que le circuit extérieur n'est pas fermé. Le comburant est ici un corps solide, le chlorure d'argent, qui ne se dissout pas dans le liquide en contact avec lui, mais qui fournit le chlore nécessaire à la dissolution du zinc.

La force électro-motrice varie entre 1 et 1,07 volt ; sa résistance intérieure dépend du temps de service et des dimensions de l'élé-

ment. Dans le type que nous venons de décrire, la résistance varie entre 2,7 et 4,3 *ohm*.

M. *Duchemin* a proposé en 1866 l'emploi du perchlorure de fer comme dépolarisant, mais l'action est incomplète, et le zinc se recouvre bientôt de dépôts peu conducteurs.

M. *Marié-Davy* a essayé le chlorure de plomb, mais la force électromotrice de cet élément est faible ; le chlorure de plomb est assez cher, la pile ne présente donc pas d'avantage spécial.

Dans la pile de M. *Niaudet*, le zinc plonge dans une solution de chlorure de sodium, et le charbon dans une solution de chlorure de chaux qui joue ici le rôle de dépolarisant.

Le chlorure de chaux du commerce, employé comme décolorant et désinfectant, est un mélange de chaux, d'hypochlorite de chaux et de chlorure de calcium. L'acide hypochloreux que contient l'hypochlorite est composé d'oxygène et de chlore qui peuvent se combiner tous deux avec l'hydrogène pour former de l'eau et de l'acide chlorhydrique.

Ce dernier acide attaque la chaux et produit du chlorure de calcium ; tous les corps qui prennent naissance étant solubles, le liquide garde sa limpidité, il n'y a pas de dépense en circuit ouvert.

La force électro-motrice de cet élément est de 1,6 *volt*. Le chlorure de chaux ayant une odeur très désagréable, le vase doit être clos à l'aide d'un bouchon recouvert de cire.

Piles à mélanges dépolarisants. — Nous avons examiné jusqu'ici des piles dans lesquelles on entoure l'électrode électro-négative (cuivre, platine, charbon ou argent) de matières abandonnant facilement de l'oxygène ou du chlore, qui se combinent avec l'hydrogène dégagé et produisent une dépolarisation partielle ou totale. Une autre méthode consiste à placer autour de cette électrode un mélange de deux substances dont la réaction réciproque produit soit de l'oxygène, soit du chlore. Les piles de ce genre le plus en usage sont les piles de bichromate de potasse.

M. *Poggendorff* est le premier qui ait eu l'idée d'employer un

mélange de bichromate de potasse et d'acide sulfurique dans l'eau distillée pour dépolariſer l'électrode conductrice.

Depuis, la pile au bichromate a reçu différents perfectionnements qui ont rendu son emploi très commode et très pratique.

La force électro-motrice des éléments atteint 2 *volts*, elle est plus grande que celle des éléments Bunsen et Grove, mais, malgré le mélange, il se produit une polarisation rapide, surtout lorsque le circuit extérieur est peu résistant.

Les éléments en présence produisent des réactions complexes qui se traduisent finalement par la formation d'un alun de chrome qui produit un courant en sens inverse de celui de l'élément, il en résulte une polarisation énergique et un épuisement rapide du liquide.

Les piles au bichromate de potasse ont la propriété de donner un courant énergique sans répandre aucune odeur, à la condition de ne les employer que pour des travaux ou des expériences de courte durée et de retirer les zincs du liquide après chaque expérience.

M. *Ducretet* construit dans ce but un modèle composé d'éléments à bichromate suspendus par des cordes qui s'enroulent sur un treuil. Les éléments plongent dans une solution composée de :

Bichromate de potasse.....	200 grammes.
Eau ordinaire.....	2 litres.
Acide sulfurique ordinaire.....	150 à 200 grammes.

On peut ajouter 5 grammes de bisulfate de mercure pour entretenir les zincs dans un bon état d'amalgamation.

M. *Camacho* dispose les éléments en cascade et fait circuler le mélange dépolariſant; l'électrode de charbon est placée dans un vase poreux rempli de fragments de charbon de cornue; on obtient ainsi une surface énorme de l'électrode, ce qui rend la polarisation très lente.

M. *Cloris Baudet* a aussi combiné une pile à laquelle il a donné le nom un peu prétentieux d'*impolarisable*, et dans laquelle le

vase poreux qui renferme le zinc porte deux autres petits vases qui lui sont soudés latéralement : l'un de ces petits vases renferme de l'acide sulfurique, l'autre, percé de trous, des cristaux de bichromate de potasse ; il établit ainsi une *provision* de substances qui maintient la solution dans un état de concentration suffisant.

Pile au bichromate de potasse de M. G. Trouvé. —

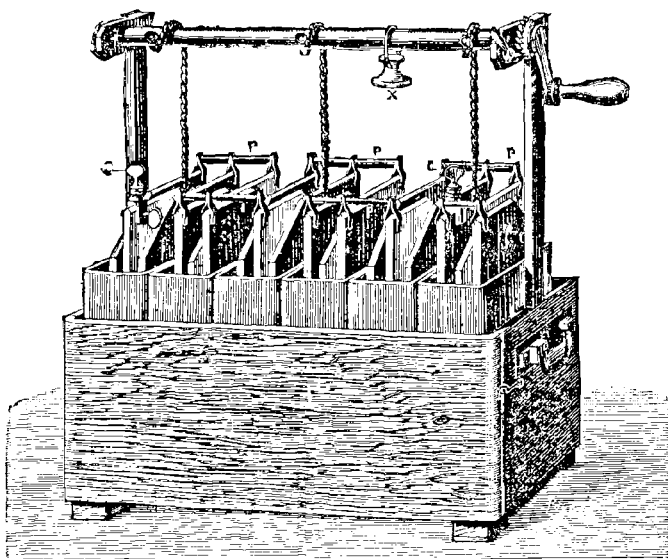


Fig. 12. — Pile au bichromate de potasse de M. Trouvé.

Ce modèle a été combiné pour l'éclairage domestique et les applications médicales.

Chaque batterie se compose d'une auge en chêne garnie de quatre à six cuvettes en ébonite (fig. 12) qui contiennent le liquide de chaque élément. Les zincs et les charbons, reliés entre eux par des pinces mobiles, sont montés sur un treuil qui permet de faire varier à volonté leur immersion dans le liquide et de régler le débit en plongeant plus ou moins les éléments, c'est-à-dire en faisant varier la résistance intérieure de la batterie et sa surface active. Un arrêt en bois empêche les éléments de sortir complè-

tement des cuves ; en supprimant cet arrêt, en le poussant de côté, la hauteur du treuil permet de les rendre absolument indépendants, de manière à vider ou à remplir les cuves en ébonite. La face antérieure de l'auge est munie, à cet effet, d'une charnière qui permet de l'ouvrir et de sortir les cuvettes sans déranger les éléments.

Ceux-ci sont formés d'une lame de zinc et de deux charbons cuivrés galvaniquement à leur partie supérieure. Le zinc présente une encoche qui sert à les fixer à l'axe métallique recouvert de caoutchouc qui supporte les éléments. Cette disposition permet de déplacer très rapidement les zincs pour les amalgamer ou les remplacer. La composition du liquide pour une batterie de six éléments est la suivante :

Eau.....	8 kilogrammes.
Bichromate de potasse pulvérisé.....	1 —
Acide sulfurique.....	3,6 —

Voici comment la solution se prépare :

On met dans une tourie d'une contenance de 15 litres, 8 litres d'eau, soit trois fois une des cuvettes d'ébonite de l'appareil, puis on ajoute le bichromate de potasse pulvérisé. On agite de façon à en faciliter la dissolution, puis on verse en mince filet et en remuant constamment les 3^l,600 d'acide sulfurique. Il est très important de mettre 8 à 10 minutes pour cette opération. Sous l'influence de l'acide sulfurique, le mélange s'échauffe peu à peu et le bichromate, une fois dissous, ne dépose pas par cristallisation en se refroidissant. On doit attendre que la dissolution soit refroidie avant de l'introduire dans la batterie.

Une batterie chargée à neuf représente une somme d'énergie électrique disponible égale à 135 000 kilogrammètres, ou un demi-cheval-vapeur pendant une heure.

Pile Grenet. — Dès l'année 1856, M. Grenet avait imaginé et construit des piles au bichromate de potasse à insufflation d'air pour s'opposer au dépôt d'alun de chrome et faciliter la dépoliarisation. L'idée a été reprise récemment, mais non

continué, pour l'éclairage du Comptoir d'escompte où le problème se posait dans des conditions toutes spéciales. En effet l'installation d'un moteur à vapeur dans les caves, à proximité du service des titres, présentait un sérieux danger; l'établissement d'un moteur dans un local voisin était également impossible, à cause du prix élevé des loyers dans un quartier aussi central et des difficultés relatives à l'établissement des conducteurs nécessaires pour relier le lieu de production au lieu de consommation en traversant des rues. Au point de vue technique, les difficultés ont été levées par l'établissement de 50 batteries du système Jarriant et

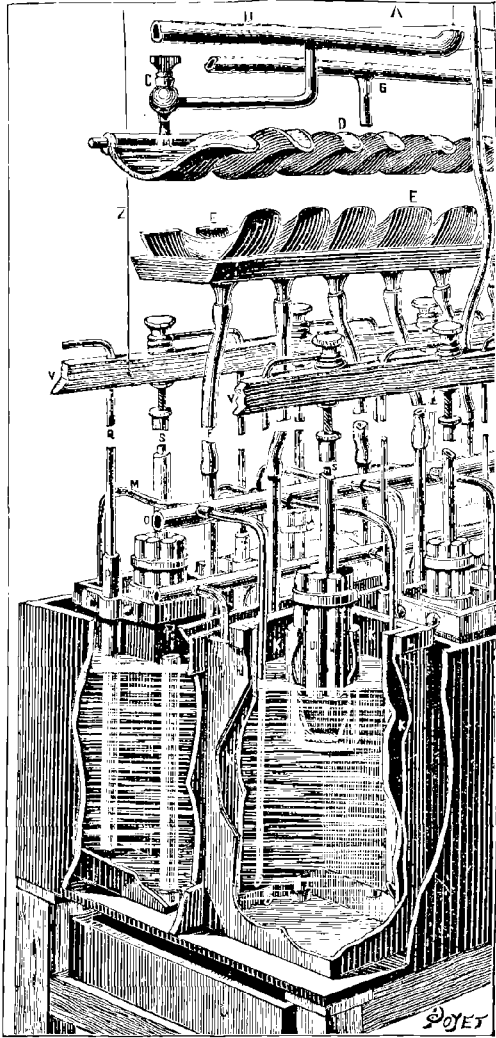


Fig. 13. — Détail des éléments d'une batterie au bichromate de soude de MM. Jarriant et Grenet.

Grenet, au bichromate de soude, avec circulation du liquide et insufflation d'air. Ces cinquante batteries étaient installées dans les combles de l'é-

difice et alignées avec autant de régularité que pouvaient le permettre les pans coupés et les couvertures mansardées du bâtiment. La figure 13 montre le détail d'une batterie et la figure 14 une série de batteries alignées.

Chaque batterie comprend quarante-huit éléments disposés en deux lignes juxtaposées de vingt-quatre éléments, dans des auges en bois rectangulaires. Chaque élément se compose d'un récipient en ébonite renfermant le liquide, une solution de 38 kilogrammes de bichromate de soude et 75 kilogrammes d'acide sulfurique à 66° par mètre cube de liquide. Le bichromate de soude remplace ici le bichromate de potasse, qui est d'un prix beaucoup plus élevé.

Le pôle positif de chaque élément est formé de quatre plaques de charbon placées dans une auge de forme rectangulaire et assemblées dans une tête en plomb. Sur cette tête en plomb se fixent aussi deux petits tubes en ébonite qui plongent jusqu'au fond de l'auge et servent à l'insufflation, comme nous allons l'indiquer tout à l'heure. Les charbons sont fixes et plongent toujours entièrement dans le liquide dont le niveau est réglé dans chaque élément par un tuyau de trop-plein *i* (fig. 13).

Le pôle négatif de chaque élément est formé par un récipient circulaire en caoutchouc durci au centre duquel est fixée une tige en cuivre *s* protégée par un tube isolant. La partie inférieure de la tige plonge dans du mercure que renferme le récipient. C'est sur la base de ce récipient que viennent reposer les cylindres de zinc *U*, *U*, maintenus par une ou deux jarretières en caoutchouc contre la tige *s*. Le mercure assure un bon contact et une amalgamation toujours parfaite du zinc jusqu'à usure complète.

On met en général six crayons de zinc d'un centimètre de diamètre dans chaque élément. Tous les zincs sont suspendus à deux traverses horizontales qui peuvent se soulever à l'aide d'un système de poulies et d'engrenages équilibrés par des contrepoids (fig. 2). On peut ainsi facilement mettre la pile en activité ou en repos, en plongeant ou en retirant les zincs, régler la

surface active plongée dans le liquide, etc. Pour que les communications entre le zinc d'un élément et le charbon de l'élé-

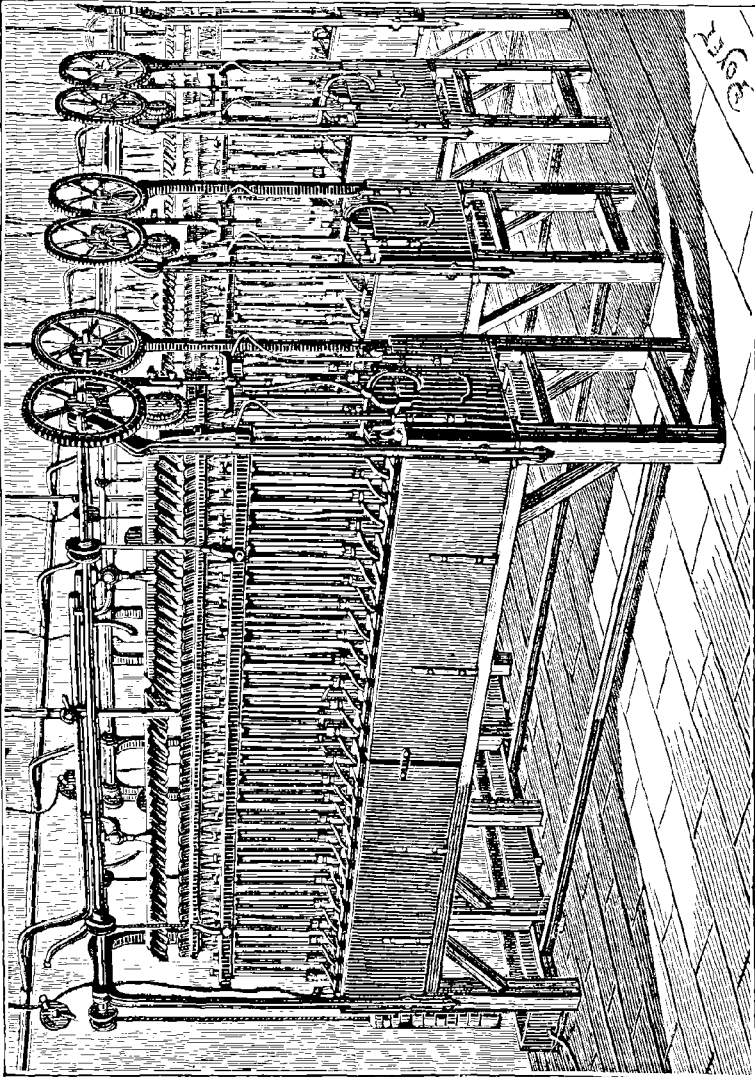


Fig. 14. — Batteries au bichromate de soude de MM. Jarriant et Grenet.

ment suivant restent permanentes malgré les déplacements des zincs, à chacun d'eux est fixée une tige métallique en équerre

dont la branche verticale plonge dans un tube P renfermant du mercure et relié au charbon de l'élément suivant (fig. 14) ; les zincs peuvent ainsi monter ou descendre sans que la communication cesse d'être établie entre les 48 éléments montés tous *en tension* dans chaque batterie.

La dissolution de bichromate de soude préparée à l'avance à l'usine est apportée dans des voitures spéciales et refoulée par une pompe jusqu'au sommet de l'édifice dans de grands réservoirs. De là un réseau spécial de canalisation l'amène au-dessus de chacune des batteries. Le liquide se déverse par un robinet en grès C dans une série de petites cuvettes en ébonite D qui affectent à peu près la forme de chapeaux de gendarme. Lorsque ces petites cuvettes renferment une certaine quantité de liquide, un litre par exemple, elles basculent autour d'un axe commun et se vident dans une seconde série d'auges isolées E d'où, par des tuyaux en caoutchouc, le liquide se déverse ensuite dans chaque élément, à la partie inférieure, tandis que le tuyau de trop plein rejette une quantité égale de liquide puisé à la partie supérieure de chaque élément dans des caniveaux de décharge qui correspondent à d'autres réservoirs placés à l'étage inférieur. Suivant la nature du liquide, le courant à produire, etc., on règle l'écoulement du liquide par le robinet C. Le liquide neuf peut servir trois fois ; la première fois, on le fait écouler à raison de 20 litres environ par heure et par batterie, la seconde fois à raison de 30 litres, la troisième à raison de 40 litres ; en rajoutant ensuite un peu de liquide neuf, on peut faire servir la solution une quatrième fois, en faisant passer jusqu'à 60 litres par heure et par batterie de quarante-huit éléments. Après quoi, le liquide est pratiquement épuisé, on le renvoie à l'usine pour le régénérer. Ce procédé de régénération, sur lequel nous n'avons pas de renseignements bien précis, permettrait, au dire de MM. Jarriant et Grenet, de reconstituer les éléments actifs en séparant le chrome et le zinc du sulfate alcalin, par un procédé des plus économiques. Nous faisons toutes réserves sur ce point spécial. Le lavage et le nettoyage des éléments s'opère par

une canalisation d'eau parallèle à la canalisation de bichromate de soude ; les eaux de lavage s'écoulent ensuite à l'égout par une série de caniveaux disposés sur le plancher même de l'installation.

Une dernière canalisation est celle relative à l'insufflation. Pour la réaliser sans trop de frais et sans installation spéciale, on a mis à profit la distribution d'air établie pour le service des tubes pneumatiques qui desservent les différents bureaux du Comptoir. Le moteur à gaz et la pompe qu'il actionne ont donc un double rôle à remplir ; l'air sous pression sert à la fois aux dépêches pneumatiques et à l'insufflation des éléments.

L'air arrive à chaque batterie par un tube horizontal *O*, d'où, par une série de petits tubes *o* qui viennent plonger dans les boîtes en ébonite, à raison de deux tubes par élément, on règle la quantité d'air insufflé par un robinet.

Dans ces conditions, en proportionnant convenablement l'écoulement du liquide et l'échappement de l'air au travail électrique à produire, on obtient un courant parfaitement constant, condition des plus satisfaisantes pour la régularité de la lumière. La force électro-motrice de chaque batterie, formée de quarante-huit éléments, est d'environ 82 volts, et sur un circuit court, l'intensité du courant est de vingt-quatre ampères. MM. Jarriant et Grenet estiment que chaque batterie en plein fonctionnement équivaut à un cheval-vapeur et demi d'énergie électrique, soit 112 kilogrammètres par seconde.

Dans la disposition adoptée au Comptoir d'Escompte, le fonctionnement de chaque batterie est indépendant de celui de toutes les autres. Tous les zincs extrêmes sont reliés à un fil commun qui forme le négatif. Chacun des pôles positifs vient s'attacher à un grand commutateur suisse à cinquante directions. C'est aussi à ce commutateur que viennent s'attacher les cinquante conducteurs qui correspondent aux lampes à arc ou aux séries de lampes à incandescence disposées dans les différents services.

On peut ainsi établir très rapidement toutes les communications, et connaître d'un seul coup d'œil, sans erreur possible,

toutes les piles en service et les lampes en fonction à un instant déterminé. Grâce au négatif commun et au commutateur suisse, on n'a jamais besoin de manœuvrer qu'une seule clef pour établir la communication entre une batterie donnée et le foyer qu'elle doit alimenter. Les accidents sont ainsi rapidement localisés, les substitutions de lampes et de piles s'opèrent avec la plus grande facilité et l'accident est réparé en quelques instants, sans recherches inutiles et sans tâtonnements.

Telle est, dans ses grandes lignes, l'installation. Tout en admirant l'agencement heureux du système et les dispositions ingénieuses imaginées par MM. Jarriant et Grenet dans cette installation unique autant par sa nature que par son importance, croyons-nous devoir faire les plus expresses réserves au point de vue économique. Il faudrait avoir des chiffres précis relativement au prix total de l'installation et au prix d'entretien, en tenant compte de tous les facteurs multiples qu'il est juste d'y faire figurer, pour savoir si la production d'une énergie électrique de cinquante chevaux-vapeur par les piles hydro-électriques au bichromate de soude est non pas économique, mais seulement d'un prix comparable à celui d'une production directe par une machine à vapeur de cinquante chevaux et des machines dynamo-électriques.

Il faut croire d'ailleurs que les résultats économiques de cette installation n'ont pas répondu à l'attente des intéressés puisque l'éclairage électrique que nous venons de décrire est aujourd'hui supprimé. Nous avons cru utile néanmoins de le faire connaître, car les piles à courant continu et constant pourraient, à notre avis, rendre des services dans certains laboratoires où la question économique n'a qu'une importance accessoire.

Bougies et briquettes électrogènes de M. le D^r Brard.

— Le véritable nom de ce nouveau producteur d'électricité serait celui de générateur *thermo-chimique*, le courant étant en réalité engendré par une action chimique produite à une température élevée.

La réaction chimique qui donne naissance au courant est la

combustion du charbon sous l'action d'un corps oxydant, comme l'azotate de potasse ou l'azotate de soude ; le charbon joue le rôle du zinc dans les piles hydro-électriques ordinaires, et le courant produit va, dans le circuit extérieur, de l'azotate au charbon.

La première *expérience* dans laquelle ces courants ont été constatés est due à Antoine-César Becquerel, qui la décrit ainsi dans son *Traité d'électricité et de magnétisme* (tome I^{er}, page 183, année 1855) :

« Si l'on fixe à l'une des extrémités du fil d'un multiplicateur un creuset de platine rempli de nitrate ou de chlorate de potasse fondu, et que l'on attache à l'autre extrémité un morceau de charbon de cornue dont le bout a été préalablement porté à la température rouge, en plongeant ce charbon incandescent dans le bain en fusion, on a un courant énergique dans un sens tel que le charbon est négatif et le nitrate de potasse positif. Cet effet est dû à la combustion vive du charbon aux dépens de l'oxygène du bain en fusion. Pour que l'expérience réussisse, il est nécessaire de maintenir le morceau de charbon avec la main, afin qu'il ne touche pas aux parois du creuset. »

Cette expérience était tombée dans l'oubli lorsqu'en 1877 elle fut répétée par M. Jablochhoff, d'une façon tout à fait indépendante et sans avoir connaissance des travaux antérieurs de Becquerel, mais il ne donna aucune suite à ses recherches.

Tout récemment, l'idée a été reprise par M. le D^r Brard, de la Rochelle, et la question a fait, entre ses mains, un pas très important puisque les bougies et les briquettes de cet inventeur constituent aujourd'hui un véritable *combustible électrogène* fournissant à la fois de la chaleur et de l'électricité. M. Brard espère même arriver à construire un véritable poêle électrique produisant en grand et d'une manière continue ce que les bougies et les briquettes fournissent aujourd'hui en petit d'une manière discontinue.

Sans vouloir préjuger en rien l'avenir réservé aux projets de

M. le D^r Brard, nous nous contenterons de signaler ici les premiers résultats obtenus.

Bougie électrogène. — Le petit appareil auquel M. Brard a donné ce nom, à cause de son analogie de forme extérieure avec une bougie, a pour objet de fournir pendant quelques instants de la chaleur, de la lumière et de l'électricité. Voici comment cette bougie est constituée :

On fait un aggloméré avec du charbon pulvérisé agglutiné avec de la mélasse, tassé dans un moule et formant un petit cylindre emprisonnant des fils fins de cuivre qui sortent à l'une des extrémités pour former le pôle négatif. Ce cylindre de charbon est enveloppé d'une feuille mince et isolante de papier d'amiante, et le tout, après dessiccation complète, est trempé vivement et à plusieurs reprises dans un bain d'azotate fondu jusqu'à ce qu'on y fasse adhérer une couche de 6 ou 7 millimètres d'épaisseur. On recouvre le nitrate refroidi d'une feuille de clinquant ou on l'entoure de quelques fils de cuivre destinés à former le pôle positif, et on recouvre le tout d'une dernière feuille de papier d'amiante.

L'appareil ainsi construit présente grossièrement l'aspect d'une bougie dont le charbon constitue la mèche et l'azotate la stéarine. En fermant un circuit entre les deux séries de fils métalliques qui constituent les pôles de la bougie, et en faisant rougir le charbon à l'autre extrémité de la bougie jusqu'à l'enflammer, on obtient un courant qui dure autant que la combustion de la bougie ; cependant, à cause de l'énergie de la combustion due à la présence du nitrate, la bougie fuse et ne dure qu'un instant. Il fallait atténuer cette combustion vive, et c'est ce qui a été réalisé dans les briquettes électrogènes.

Briquettes électrogènes. — La briquette de M. Brard n'est pas autre chose, en principe, qu'une bougie de fabrication plus simple et à combustion lente. On obtient ce résultat en mélangeant au nitrate une certaine quantité de cendres qui, pour donner de bons résultats, doit être environ trois fois plus grande

que la quantité de nitrate, ce qui réduit son activité comburante dans la même proportion.

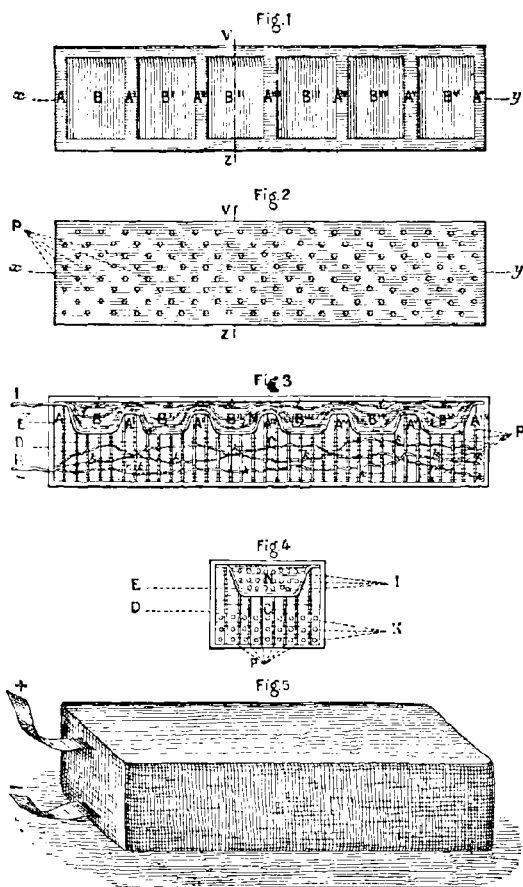


Fig. 15. — Briquette électrogène de M. le Dr Brard.

Fig. 1. Vue en dessus du charbon A, A', A'', cloisons tapissées d'amiante. — Fig. 2. Vue en dessous, montrant les trous P destinés à faciliter la combustion. — Fig. 3. Coupe longitudinale, suivant XY. — Fig. 4. Coupe transversale suivant VZ. — Fig. 5. Vue d'ensemble extérieure de la briquette.

La figure 15 montre les dispositions des briquettes actuellement établies par M. le Dr Brard.

Ces briquettes présentent extérieurement la forme d'un paral-

l'élipède (fig. 5) de 15 centimètres de longueur, 35 millimètres de largeur et 25 millimètres d'épaisseur. Le charbon de la briquette se compose de 100 grammes de poussière de houille agglomérée soit à l'aide de mélasse, soit à l'aide de goudron de houille ou *brai*. La pâte ainsi obtenue est fortement comprimée soit à froid, soit à chaud, dans des moules en fonte, dans lesquels ont été préalablement disposés des fils fins de cuivre, de laiton ou tout autre métal bon conducteur qui se trouvent ainsi emprisonnés dans l'aggloméré de charbon (fig. 3) et viennent sortir à une de ses extrémités pour constituer le pôle négatif.

Le moule est disposé pour que la briquette qui en sort soit perforée dans toute son épaisseur de trous nombreux destinés à faciliter la combustion et à multiplier les points de contact du charbon avec le nitrate. La face supérieure du charbon porte des dépressions rectangulaires de 15 millimètres de profondeur divisées en compartiments plus ou moins nombreux par des cloisons transversales obtenues pendant le moulage. La surface des compartiments est tapissée par une feuille mince de papier d'amiante ou toute autre matière isolante réfractaire et poreuse qui doit séparer le charbon du mélange de nitrate et de cendres. Ce mélange, composé d'une partie de nitrate (potasse, soude, etc.) et de trois parties environ de cendres, est versé très chaud et à l'état sirupeux à la surface de l'aggloméré ; on en met environ 100 grammes, en ayant soin de noyer dans la masse de nitrate une lame de laiton fendue en un certain nombre de brindilles et dont l'extrémité libre constitue le pôle positif. Le tout est entouré d'une feuille d'amiante de 3 à 4 dixièmes de millimètre d'épaisseur.

Il suffit de placer cette briquette dans un feu ardent, par l'extrémité opposée aux lames de laiton, pour obtenir au bout de quelques minutes un courant continu et constant, si la briquette est homogène, pendant toute la durée de sa combustion, c'est-à-dire pendant une heure et demie à deux heures.

Une seule briquette suffit pour actionner une sonnerie du modèle ordinaire du commerce, trois ou quatre de ces briquettes

montées en tension et brûlant simultanément décomposent l'eau.

Du rôle des piles dans les applications de l'électricité. — Dans toutes les piles que nous venons de passer en revue, nous trouvons toujours le zinc comme combustible. Le travail disponible dans le circuit extérieur d'une pile dépend du nombre de calories produites par la combinaison du zinc avec le comburant. En la considérant à ce point de vue, la pile qui rend des services précieux en télégraphie, pour les sonneries d'appartement, les appareils médicaux, les expériences de laboratoire, etc., est absolument impropre à fournir économiquement de *grandes quantités* d'énergie électrique. Le zinc est un combustible cher; à poids égal il coûte quinze fois plus que la houille et développe cinq fois moins de chaleur. Dans les piles à acide azotique, le dépolarisant coûte trois et quatre fois plus cher que le zinc. Ce fait seul suffit à expliquer l'insuccès relatif des piles hydro-électriques et le peu d'applications qu'elles ont reçu jusqu'ici à la production *en grand* de l'électricité.

Malgré la complication qu'amène l'emploi des machines, on les préfère pour cet usage, ainsi que pour d'autres applications que nous étudierons par la suite.

Là où il faut fournir des calories et du travail, la pile a l'inconvénient de brûler un combustible trop cher, le zinc, et de le brûler trop lentement, ce qui oblige à employer un nombre considérable d'éléments pour n'obtenir qu'un faible travail disponible. Il existe cependant des tentatives d'éclairage électrique et de production de force motrice à l'aide de piles, dignes d'être encouragées; celles, par exemple, où le point de vue économique n'est que secondaire, et où l'on recherche surtout un éclairage de luxe et de confort, ou un service intermittent et irrégulier.

A moins d'une révolution complète dans la production de l'électricité par l'action chimique directe, les principes actuellement connus ne permettent pas d'établir une pile à la fois puissante et économique pour les applications qui exigent ces deux qualités réunies à un très haut degré.

Constantes et couplage des piles. Débit. Travail maximum. — Le débit d'une pile est la quantité d'énergie électrique disponible dans le circuit extérieur par unité de temps. Ce débit dépend des *constantes* de la pile, c'est-à-dire de sa force électromotrice E et de sa résistance intérieure r , ainsi que de la résistance du circuit extérieur R sur laquelle la pile est montée.

L'intensité du courant fourni est alors donnée par la formule :

$$I = \frac{E}{r + R} \text{ ampères.}$$

Le travail utile, disponible dans le circuit extérieur W , est alors

$$W = \frac{I^2 R}{g} \text{ kilogrammètres par seconde.}$$

On démontre que le maximum de W a lieu pour

$$R = r$$

c'est-à-dire lorsque la résistance extérieure du circuit est égale à la résistance intérieure de la pile. On a alors :

$$W_m = \frac{E^2}{4rg} \text{ kilogrammètres par seconde.}$$

Cette formule montre qu'il faut, pour obtenir le plus grand débit possible, augmenter E et diminuer r . Lorsqu'on dispose d'éléments dont les constantes E et r sont données, on se place dans les conditions de travail maximum en faisant varier le *couplage* et le nombre des éléments pour les approprier au circuit.

Lorsqu'on couple t éléments identiques *en tension*, c'est-à-dire en reliant le pôle négatif du premier élément au pôle positif du second, le pôle négatif du second au pôle positif du troisième, et ainsi de suite, on multiplie la force électromotrice et la résistance intérieure par le nombre des éléments; l'on constitue ainsi une pile dont les constantes sont :

$$\begin{aligned} tE & \text{ pour la force électromotrice,} \\ tr & \text{ pour la résistance intérieure.} \end{aligned}$$

En couplant q éléments *en quantité* ou en dérivation, c'est-à-dire en reliant tous les pôles positifs entre eux et tous les pôles négatifs entre eux, la force électromotrice reste égale à celle d'un seul élément, mais la résistance intérieure se trouve divisée par le nombre des éléments et devient $\frac{r}{q}$.

Enfin, en associant $tq = n$ éléments t en tension et q en dérivation, on obtient une combinaison voltaïque se comportant comme une pile unique de force électromotrice tE et de résistance intérieure $\frac{t}{q}r$.

La formule de l'intensité devient alors :

$$I = \frac{tE}{\frac{t}{q}r + R};$$

et celle du travail maximum :

$$W_m = \frac{t^2 E^2}{4 \frac{t}{q} r} = \frac{n E^2}{4 r q} \text{ kilogrammètres par seconde.}$$

Les formules ci-dessus combinées avec la condition de travail maximum :

$$R = \frac{t}{q}r$$

permettent de calculer dans chaque cas le nombre d'éléments n nécessaire pour fournir une quantité d'énergie donnée dans un circuit de résistance donnée, ainsi que le couplage de ces n éléments.

Il est toujours possible, en principe, d'obtenir une intensité quelconque sur un circuit de résistance quelconque, avec des éléments donnés, mais, en pratique, on se trouverait conduit à faire usage d'un trop grand nombre d'éléments dès que la quantité d'énergie à produire est un peu considérable.

Cependant, avec certains *accumulateurs* à grande surface, qui ne sont pas autre chose que des piles à grand débit, on obtient jusqu'à 12 et 15 kilogrammètres par seconde et par élément; la force électromotrice n'est que de 2 volts, mais la résistance intérieure est très faible et ne dépasse pas 0,005 ohm.

Un élément Bunsen rond, de 20 centimètres de hauteur, dont les constantes sont : $E = 1,8$ volt : $r = 0,1$ ohm, ne débite que 0,8 kilogrammètre par seconde. Il faudrait donc, au point de vue du débit, plus de 20 éléments Bunsen pour remplacer un seul accumulateur.

CHAPITRE II

LES ACCUMULATEURS.

On donne le nom générique d'*accumulateur* à tout appareil capable d'emmagasiner de l'énergie ou du travail sous une forme quelconque et de la restituer ensuite à volonté. Les *accumulateurs électriques* en particulier sont des appareils qui reçoivent de l'énergie sous forme électrique (courant de *charge*), l'emmagasinent sous forme d'action chimique, et la restituent ensuite sous forme d'énergie électrique (courant de *décharge*) utilisable à volonté pour l'éclairage, la force motrice, etc.

Un accumulateur électrique n'est pas autre chose qu'une pile *réversible*, c'est-à-dire une pile susceptible d'être régénérée indéfiniment en la faisant traverser par un courant de sens inverse à celui qu'elle produit elle-même, courant qui ramène les corps composants dans leur état primitif et leur permet de reproduire une nouvelle quantité d'énergie, énergie limitée dans chaque cas par la nature et la quantité des matières actives, ainsi que par la durée et la puissance du courant de *charge*.

Toute pile dans laquelle l'action chimique qui produit le courant ne donne pas naissance à des produits volatils est *théoriquement* réversible et susceptible de constituer un accumulateur.

Pratiquement, le plomb seul convient bien aux effets de cette nature, aux charges et aux décharges nécessaires, comme l'a montré le premier M. *Gaston Planté* en 1860.

Avant de parler des accumulateurs ou couples secondaires de M. Planté, disons qu'en dehors de leur rôle d'accumulateurs ils peuvent aussi jouer le rôle de *transformateurs*, c'est-à-dire qu'ils permettent d'obtenir, pendant un temps plus court, des effets de tension ou d'intensité beaucoup plus puissants que ceux de la source primitive, ou, inversement, de produire des effets moins intenses, mais pendant un temps beaucoup plus long.

C'est ainsi, par exemple, qu'avec 800 petits couples de M. Planté chargés en quantité avec deux éléments Bunsen et couplés ensuite en tension, on peut illuminer directement un tube de Geissler et reproduire tous les effets de l'électricité dite *statique*.

On est même parvenu dans ces derniers temps à construire de petits accumulateurs par un procédé analogue aux piles sèches, et à les charger tous en tension avec une machine de Holtz ; en les recouplant ensuite en quantité, on peut en tirer des effets de même nature que ceux fournis par l'électricité dite *dynamique*.

Le cycle de transformations est donc complet, et les deux expériences inverses que nous signalons montrent une fois de plus quels liens étroits existent entre tous les phénomènes électriques.

Batteries secondaires de M. Planté. — M. Planté a été conduit à la réalisation de ses batteries par l'étude des courants secondaires développés au sein des piles. Les piles à deux liquides et à courant constant avaient été imaginées par Becquerel pour neutraliser la polarisation.

M. Planté, se plaçant à un autre point de vue, chercha à recueillir les courants secondaires et à les mettre à profit pour *accumuler* l'énergie de la pile voltaïque. Voyons, avec lui, comment il fut conduit, par des modifications successives, à adopter la forme de batterie secondaire qui est employée aujourd'hui :

« Nous avons trouvé que la force électro-motrice secondaire d'un voltamètre à lames de plomb dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique était plus énergique et plus persistante que celle de tous les autres métaux, et qu'elle dépassait même de moitié celle

de l'élément voltaïque le plus énergique connu, celui de Grove ou de Bunsen.

« Avec une telle force électromotrice, il ne s'agissait plus, pour constituer un élément secondaire d'une grande intensité, que de lui donner une très faible résistance, d'accroître le plus possible sa surface. Cela devenait d'autant plus facile que les deux lames nécessaires pour le former devaient être de même nature et d'un métal extrêmement flexible et malléable comme le plomb.

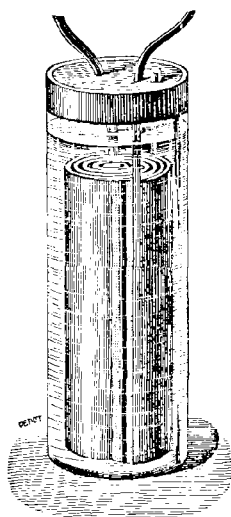


Fig. 16. — Élément Planté (1860).

« C'est ainsi que nous fûmes conduit à construire, en 1860, un élément secondaire de grande intensité, en employant une disposition analogue à celle qu'Offershauss et Hare avaient employée pour la pile voltaïque proprement dite, c'est-à-dire en enroulant en spirale deux longues et larges lames de plomb, séparées l'une de l'autre par une toile grossière, et les plongeant ensuite dans un bocal plein d'eau acidulée au $\frac{1}{16}$ par l'acide sulfurique. La figure 16 montre la disposition d'un couple secondaire de cette nature. »

La toile était un inconvénient, car elle introduisait une résistance additionnelle et s'altérait à la longue. M. Planté employa alors des batteries à lames plates parallèles, séparées par des baguettes isolantes, placées dans des cuvettes en gutta-percha. Mais les vases en gutta-percha subissaient, avec le temps, un retrait ayant pour effet de rapprocher les lames de plomb en les cintrant et d'occasionner des contacts. L'opacité de cette substance empêchait, en outre, de voir les phénomènes qui se passent à l'intérieur des couples secondaires et qu'il importe de suivre pendant la charge.

« Nous sommes donc revenu à une disposition à peu près semblable à la première que nous avons décrite, mais en mo-

diffiant toutefois le mode de séparation des lames de plomb. Nous avons séparé ces lames, non plus par une toile grossière, mais par des bandes étroites de caoutchouc présentant l'avantage de ne point s'altérer dans l'eau acidulée et de ne couvrir qu'une très mince partie de la surface des électrodes.

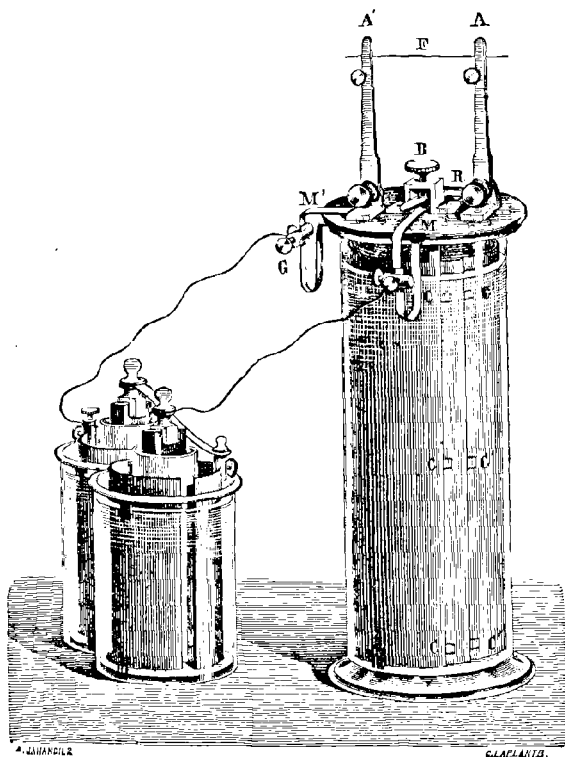


Fig. 17. — Pile secondaire de M. Planté chargée par deux éléments de Bunsen.

Fabrication des piles secondaires de M. Gaston Planté. — « Deux paires de bandes de caoutchouc d'un centimètre environ de largeur, sur un demi-centimètre d'épaisseur, sont nécessaires pour empêcher les lames de se toucher réciproquement. Les lamelles qui forment leur prolongement sont taillées aux extrémités opposées des lames, pour mieux éviter les causes de contact et pour égaliser la distribution du courant

primaire sur les surfaces des électrodes, en éloignant l'un de l'autre les deux points par lesquels débouchent l'électricité positive et l'électricité négative dans le couple secondaire. Toutefois cette disposition n'est pas indispensable, si les lames de plomb sont enroulées bien uniformément l'une autour de l'autre. L'action chimique du courant primaire se distribue alors également sur toute la surface du couple secondaire, quand même les deux pôles de la pile y déboucheraient très près l'un de l'autre.

« On enroule donc les *lames* de plomb, ainsi séparées par deux ou trois paires de bandes de caoutchouc, autour d'un cylindre en bois ou en métal (fig. 18).

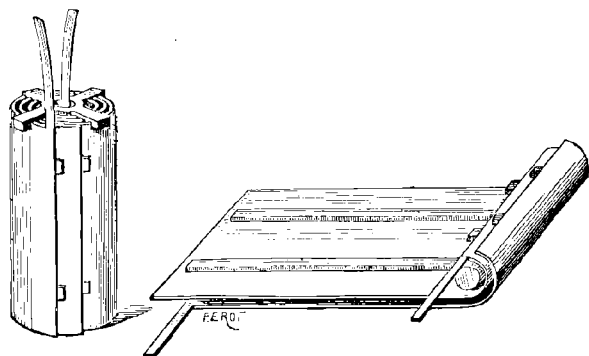


Fig. 18. — Fabrication des accumulateurs de M. Gaston Planté.

« Il convient de placer deux petites bandes de caoutchouc transversales de la longueur du cylindre, devant les extrémités des bandes longitudinales, lorsqu'on commence à enrouler la première spire, afin de bien séparer les bords des deux lames de plomb qui pourraient tendre à se toucher.

« L'enroulement une fois effectué, on enlève, avec précaution, le rouleau intérieur, et, pour donner plus de stabilité au système, on maintient les spires à leur place, d'une manière définitive, à l'aide de petits croisillons en gutta-percha ramollis par la chaleur.

« Le couple ainsi construit est introduit ensuite dans un vase cylindrique en verre, et assujéti, à l'intérieur, par de petites

cales en gutta-percha. Le vase est rempli d'eau acidulée au $\frac{1}{10}$ par l'acide sulfurique.

« La figure 17 représente un couple ordinaire d'assez grande dimension, construit comme nous venons de le dire, et indique aussi la disposition que nous avons donnée au système des communications pour charger le couple ou le décharger, et montrer les effets qu'il peut produire.

« Le vase en verre contenant les lames de plomb immergées dans l'eau acidulée est recouvert d'un disque en caoutchouc durci qui porte les pièces métalliques destinées à former le circuit secondaire, quand le couple est chargé. Les extrémités des deux lames de plomb communiquent, à l'aide des pinces G et H, à la fois avec une pile primaire formée de deux éléments de Bunsen de petite dimension et avec les lamelles de cuivre MM'. La lamelle M est disposée au-dessous d'une autre lamelle de cuivre R dont l'extrémité prolongée, formant ressort, peut être abaissée et pressée par le bouton B, et la lamelle M se trouve alors en communication avec la pince A. La lamelle M', d'autre part, est en communication constante avec la pince A', et, entre les branches de ces deux pinces, sont placés les fils métalliques destinés à être rougis ou fondus par le courant secondaire. On peut encore faire aboutir à ces deux pinces les fils provenant de tout autre appareil dans lequel on veut faire passer le même courant. »

Action chimique produite dans les couples secondaires à lames de plomb. — Lorsqu'un couple secondaire de grande surface est neuf, et qu'on vient à le faire traverser par le courant de deux couples de Bunsen, le gaz oxygène apparaît presque immédiatement sur la lame, et celle-ci ne tarde pas à être recouverte d'une couche très mince de peroxyde de plomb.

D'un autre côté, l'hydrogène, après avoir réduit la faible couche d'oxyde dont le plomb peut être couvert par l'exposition à l'air, ne tarde pas à apparaître, et si, au bout de quelques instants, on essaie le courant secondaire produit par l'appareil, on

constate qu'il est déjà très énergique par la vivacité de l'étincelle produite, lorsqu'on ferme et qu'on rompt aussitôt le circuit secondaire, avec un conducteur en cuivre peu résistant. Mais le courant ainsi obtenu est de très courte durée.

Pendant la fermeture du circuit secondaire, l'oxygène, se portant sur la lame qui était négative lors du passage du courant, a peroxydé légèrement cette lame, en même temps que le peroxyde formé sur l'autre lame lors du passage du courant principal se réduisait par l'hydrogène. On a donc, après une première expérience, deux lames recouvertes de couches minces d'oxyde et de métal réduit qui faciliteront l'action ultérieure du courant principal sur le couple secondaire.

Si l'on considère d'abord la lame de plomb qui était négative lors du passage du courant principal pour la première fois, cette lame est, comme on vient de le voir, recouverte d'une couche d'oxyde après le passage du courant secondaire. Il en résulte que si l'on fait de nouveau passer le courant principal, les premières portions d'hydrogène seront consacrées à réduire cette couche d'oxyde, au lieu de la couche plus faible résultant seulement de l'exposition à l'air, comme cela avait lieu précédemment. Par suite, un retard plus grand que la première fois se produira dans l'apparition de l'hydrogène à la surface de cette lame, car ce gaz ne commencera à se dégager que lorsque l'oxyde sera parfaitement réduit à l'état de plomb pulvérulent ou très divisé à la surface de cette lame.

Les premières portions d'oxygène qui tendent à se dégager à la surface rencontrent, cette fois, une couche de peroxyde réduit ou de plomb métallique divisé, sur laquelle ce gaz a plus de prise, s'il est permis de parler ainsi, que sur la lame de plomb servant pour la première fois; le gaz est plus facilement absorbé, et l'on commence aussi à constater un retard dans l'apparition de l'oxygène sur cette lame, retard qui correspond au temps nécessaire pour oxyder de nouveau la couche de plomb réduit à la surface.

Quand on ferme de nouveau le circuit secondaire, les phé-

nomènes précédemment décrits se reproduisent, et l'on conçoit que, lorsqu'on aura renouvelé ces opérations un très grand nombre de fois, les surfaces de plomb du couple secondaire se trouveront dans un état plus favorable pour l'oxydation ou la réduction; les couches d'oxyde alternativement formées ou réduites deviendront plus épaisses, et les effets secondaires qui en résultent présenteront plus de durée et d'intensité.

C'est, en effet, ce qu'on observe; plus un couple secondaire reçoit l'action d'un courant primaire et fonctionne lui-même après cette action, plus est longue la durée du courant secondaire. La formation consiste en une sorte de *tannage* électro-chimique. Tout le travail des piles s'accumule sous forme d'oxydation du plomb, d'une part, et, d'autre part, de réduction du plomb oxydé produit par la fermeture antérieure du courant secondaire.

Lorsque les gaz commencent à se dégager, dans un couple bien *formé*, on est averti que la pile n'effectue plus sensiblement de travail utile à la production du courant secondaire.

Puissance et durée de la décharge des couples secondaires. — Un couple secondaire bien chargé peut fournir une décharge qui dépend de la grandeur des lames, de l'épaisseur des produits et enfin de la résistance extérieure du circuit. La décharge est très constante tant que la pile renferme de l'électricité emmagasinée sous forme de travail chimique.

De même qu'un vase très large contenant une grande quantité de liquide, sous une très faible hauteur, fournirait pendant longtemps, par un petit orifice, un écoulement à peu près constant et cessant d'une manière rapide, dès que le liquide arrive au-dessous du niveau de l'orifice, de même un couple secondaire de grande surface, soit qu'il rougisse un fil métallique, soit qu'il produise une déviation galvanométrique, n'accuse une diminution d'intensité que quelques instants avant de cesser complètement de fournir de l'électricité.

Le fait est frappant quand on décharge le courant secondaire en lui faisant traverser un fil fin de platine. L'incandescence se

maintient longtemps uniforme et cesse brusquement, dès que la provision de travail chimique, accumulée dans le couple, est épuisée.

La force électromotrice *initiale* d'un couple secondaire bien formé atteint environ deux volts et demi, ce qui explique pourquoi il faut au moins trois éléments Daniell ou deux éléments Bunsen pour le charger complètement.

La faible résistance intérieure des couples, qui varie entre un vingtième et un cinquième de ohm, explique la quantité fournie par ces appareils. On peut aussi charger les éléments Planté avec des machines Gramme de laboratoire; mais dans ce cas il convient que la vitesse ne descende pas au-dessous d'une certaine valeur, pour laquelle la pile se déchargerait inutilement dans la machine. Pour remédier à cet inconvénient, nous avons combiné un conjoncteur et disjoncteur automatique qui retire la batterie secondaire du circuit dès que la force électromotrice devient trop faible pour la charger, et la replace dans ce circuit dès que la force électro-motrice est devenue assez grande pour effectuer le chargement (Voir *la Lumière électrique* du 15 juin 1880).

Les couples secondaires peuvent conserver longtemps la charge accumulée. Ainsi un couple secondaire bien formé et bien chargé peut encore rougir un fil de platine de un demi-millimètre de diamètre, pendant quelques minutes, deux ou trois semaines après avoir été chargé.

Cet effet a même été obtenu par M. Planté, avec des couples exceptionnellement bien formés, plus d'un mois après les avoir soumis à l'action primaire.

M. Planté a mesuré le rapport de la quantité d'électricité *restituée* par la décharge à la quantité d'électricité *dépensée* par la charge en décomposant du sulfate de cuivre dans un voltamètre. Le *rendement* atteint 88 à 89 p. 100; le couple secondaire est donc un accumulateur assez parfait du travail de la pile voltaïque.

Condensateur voltaïque de M. d'Arsonval. — Ce

couple se compose d'une lame de zinc et d'une lame de charbon placées dans un vase poreux rempli de grenaille de plomb ou de cendrée, le tout baigné par une solution concentrée de sulfate de zinc.

Si on charge le couple par un courant allant du charbon au zinc, le sel de zinc est électrolysé : le zinc se dépose sur la lame de zinc, l'oxygène vient former sur la cendrée de plomb du peroxyde de plomb, l'acide sulfurique reste à l'état libre. Le dépôt de métal oxydable, le zinc, n'est donc plus limité, et l'oxygène peut s'accumuler en plus grande quantité, sous forme de peroxyde de plomb. On peut substituer au plomb du manganèse, de l'argent et du cuivre, qui donnent aussi de bons résultats; mais aucun d'eux n'approche du peroxyde de plomb, adopté par M. Planté.

Pile secondaire de M. Faure. — Il s'est fait quelque bruit, au commencement de l'année 1881, autour d'un perfectionnement apporté à la pile secondaire de M. Gaston Planté par M. Camille Faure. M. Faure a voulu augmenter la capacité de l'accumulateur de M. Planté et supprimer le travail long et fastidieux de la formation. Il a recouvert à cet effet les deux électrodes en plomb d'une couche de minium maintenue par une feuille de parchemin, une feuille de feutre et des rivets en plomb. Le reste de la préparation de l'élément est identique à celui de M. Planté. Après une période de formation relativement restreinte, — cent heures environ, — on constate que l'une des couches de minium est passée entièrement à l'état de peroxyde de plomb et que l'autre, sur l'autre électrode, est devenue du plomb réduit. M. Faure, pour alléger le couple, supprime le vase en verre et le remplace par un vase de plomb dont la surface intérieure fait partie de l'une des électrodes.

Accumulateur Faure-Sellon-Volckmar. — Dans ce nouvel accumulateur exploité aujourd'hui exclusivement aux lieu et place de l'accumulateur de M. Faure, le perfectionnement le plus important consiste, à notre avis, dans la suppression du feutre qui présentait le double inconvénient d'augmenter la

résistance intérieure de l'élément et de ne résister que fort imparfaitement à l'attaque de l'eau acidulée.

Les lames se composent actuellement d'un véritable grillage en plomb fondu et coulé dans un moule approprié. Les plaques positives (oxydées) ont un réseau plus serré que les lames négatives (réduites). Cette disposition spéciale est rendue nécessaire par ce fait que l'oxydation continue des premières pendant la charge ronge peu à peu le support et finit par le détruire au bout d'un temps plus ou moins long dont on recule la limite en renforçant le grillage.

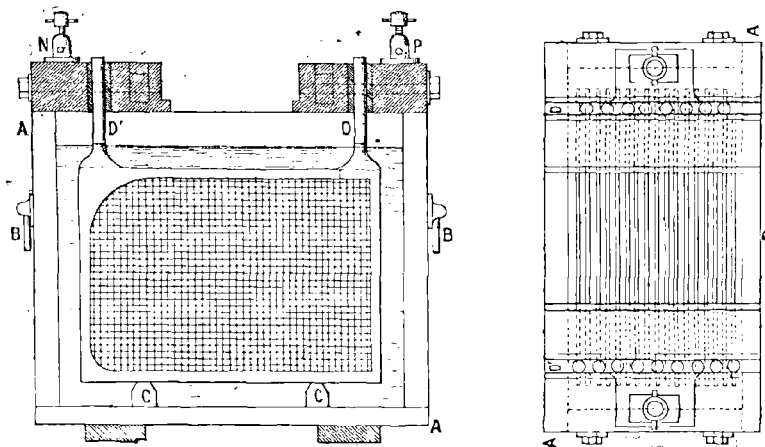


Fig. 19. — Accumulateur Faure-Sellou-Volckmar.

Les trous carrés de chaque série de plaques sont remplis d'une pâte de litharge pour les lames négatives, et de minium pour les lames positives. Elles sont disposées verticalement et parallèlement dans une grande auge de forme parallépipédique et réunies en quantité, les lames positives d'un côté, les lames négatives de l'autre.

Le passage du courant réduit la litharge et peroxyde le minium qui restent emprisonnés dans les alvéoles des plaques sous la nouvelle combinaison chimique produite par le passage du courant de charge.

Dans ces conditions, un accumulateur formé de 43 lames, et pesant 140 kilogrammes, peut produire un courant de 120 ampères pendant 6 heures et maintenir au rouge pendant ce laps de temps un fil de cuivre de 1 millimètre $1/2$. C'est là une décharge moyenne correspondant à $1/2$ ampère par kilogramme de plaques. Pour des décharges rapides, on peut aller beaucoup plus loin ; un modèle renfermant 53 lames et pesant 170 kilogrammes peut débiter jusqu'à 3 ampères par kilogramme de matière utile et *fondre* un fil de *cuivre* de *cinq* millimètres de diamètre. A défaut de moyens de mesure précis, on estime que le courant doit varier entre 400 et 500 ampères. Cette puissance de débit tient à la résistance excessivement faible de l'élément, résistance diminuée par la suppression du feutre, le grand nombre des lames, la grande surface de chacune d'elles, et leur rapprochement. La somme de travail emmagasinée par kilogramme de matière utile ne semble pas augmentée par cette disposition qui a surtout pour effet d'augmenter le débit, c'est-à-dire de permettre de vider l'accumulateur en un temps relativement court, qualité précieuse dans bien des applications, la locomotion électrique, par exemple, dont nous parlerons plus loin. La somme d'énergie électrique emmagasinée dans un accumulateur du poids de 60 kilogrammes représente un *cheval-heure* ou 270 000 kilogrammètres, soit environ 4000 kilogrammètres par kilogramme d'accumulateur.

Cette énergie disponible varie d'ailleurs avec le régime de décharge ; plus celle-ci est lente, plus la quantité totale d'énergie disponible retirée de l'accumulateur est grande. Cette quantité varie entre 10 et 16 chevaux-heure par tonne.

CHAPITRE III

PILES THERMO-ÉLECTRIQUES.

Les *pires thermo-électriques* sont des appareils qui transforment directement la chaleur en électricité. La découverte de ce fait, de la plus haute importance, fut faite en 1821 par *Seebeck*,

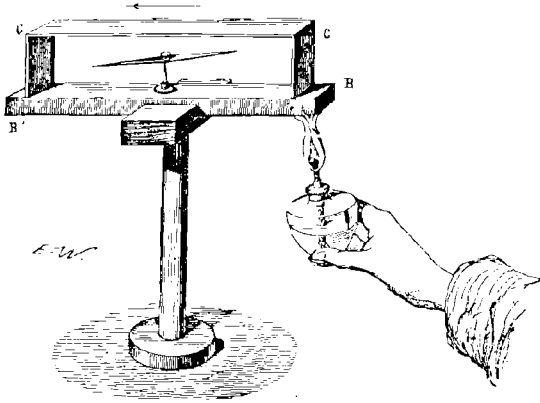


Fig. 20. — Expérience de Seebeck.

professeur à Berlin. En soudant sur une lame de bismuth les extrémités d'une lame de cuivre recourbée de manière à laisser un espace vide entre les deux lames, Seebeck reconnut qu'en chauffant une des soudures de ce système métallique, une aiguille aimantée, placée entre les deux lames, se trouvait déviée, le cou-

rant allant toujours de la soudure chaude à la soudure froide à travers la lame de cuivre, et de la soudure froide à la soudure chaude à travers la lame de bismuth.

Becquerel attribue la production du courant dans les couples thermo-électriques à l'inégale propagation du calorique à travers les différentes parties du circuit hétérogène constitué par les deux métaux différents.

Quels que soient les métaux qui entrent dans la composition des couples thermo-électriques, ils se distinguent facilement des couples hydro-électriques, par la nature des courants engendrés. Dans la pile, en effet, chaque couple ou élément possède une forte tension variant de 1 à 2 volts et une assez grande résistance intérieure (variant de 0,2 à 15 et 20 ohms); dans le couple thermo-électrique, au contraire, pour une différence de température que nous supposons être de 100° entre les soudures, la force électro-motrice, très variable avec la nature des éléments constitutifs et la température moyenne des deux soudures, varie entre $\frac{1}{20}$ et $\frac{1}{300}$ de volt, tandis que la résistance intérieure de l'élément est extrêmement faible. On exprime ce fait en disant que les piles thermo-électriques donnent de la quantité et peu de tension, aussi faut-il en réunir un grand nombre en tension pour avoir une certaine force électromotrice.

Becquerel, en faisant des expériences entre 0° et 20° sur différents métaux, a pu les classer dans un ordre tel que chacun d'eux est positif par rapport à ceux qui le précèdent et négatif par rapport à ceux qui le suivent. Voici l'ordre des métaux expérimentés par Becquerel : bismuth, platine, argent, étain, plomb, cuivre, or, zinc, fer, antimoine.

Il semblerait, *a priori*, qu'en prenant, pour former un couple thermo-électrique les éléments les plus éloignés de la série, on puisse obtenir, pour une différence de température donnée, la plus grande force électro-motrice. D'autres considérations d'ordre théorique et pratique montrent qu'il n'en est rien.

La pratique indique le choix de métaux, d'alliages ou de substances dans lesquels la différence de température des sou-

dures puisse être maintenue au plus haut degré possible sans altérer la pile. Au point de vue du prix d'établissement d'une pile, la nature des métaux employés joue aussi un certain rôle.

La loi des courants thermo-électriques qui établit que la force électro-motrice est proportionnelle à la différence des températures n'est exacte qu'à la condition de faire intervenir une considération spéciale à la *température moyenne* des deux soudures et au *point neutre*, qui varie avec la nature des métaux employés. Un exemple fera mieux comprendre qu'une explication théorique ce qu'il faut entendre par point neutre dans un couple thermo-électrique.

Prenons, par exemple, un couple thermo-électrique constitué par les deux métaux cuivre et fer. Supposons que la soudure froide du couple soit à 70° et la soudure chaude à 430°. Le couple ainsi constitué ne sera traversé par *aucun courant*, bien que la différence de température des deux soudures atteigne 380°. Cela tient à ce que le *point neutre* du fer par rapport au cuivre est à 210°, c'est-à-dire qu'à 210° le courant thermo-électrique fourni par les deux métaux *change de signe*, et comme la température moyenne entre les deux soudures est précisément égale à 210°, il en résulte la production de deux forces électro-motrices égales, mais de signes contraires, qui, par conséquent, se détruisent.

Tout en maintenant une grande différence de température entre les deux soudures d'un couple thermo-électrique, il faut donc éviter que les températures soient, l'une supérieure et l'autre inférieure au *point neutre* correspondant aux deux métaux qui composent le couple, car on ne recueillerait alors qu'un courant différentiel, susceptible de devenir nul lorsque la température moyenne des deux soudures correspond au point neutre (1).

Dans un couple thermo-électrique, si la différence des températures est constante, le courant est lui-même constant, car il

(1) Voir, pour plus de détails, *Electricity and magnetism* de Fleeming-Jenkin et les *Philosophical transactions*, 1856, page 708

ne se produit pas de polarisation ni de variation dans la résistance du couple. La force électro-motrice d'une pile thermo-électrique est proportionnelle au nombre des éléments qui la constituent, absolument comme pour les piles hydro-électriques.

Ces principes une fois posés, nous allons passer en revue les différents couples thermo-électriques employés dans la pratique.

Oersted et Fourier ont construit la première pile thermo-électrique proprement dite ; elle se composait de petits barreaux de bismuth et d'antimoine soudés à la suite les uns des autres en ligne droite. Les barreaux de bismuth se terminaient par une partie soudée qui plongeait dans de la glace à zéro, tandis que les autres soudures étaient portées à une température de 200° à 800° par de petites lampes.

Nobili a simplifié la pile de Fourier en repliant les barreaux en zigzag, il a pu faire rentrer 50 éléments dans un cube de 2 centimètres de côté. Melloni l'a appliquée à son thermo-multiplieur.

Pile de M. Ed. Becquerel. — En 1865, *M. Ed. Becquerel*, en faisant des recherches sur le pouvoir thermo-électrique du sulfure de cuivre artificiel, trouva que cette substance chauffée à 200 ou 300° est fortement positive, le sulfure artificiel ne fondant qu'à plus de 1000°. On peut l'employer à des températures très élevées. Le métal que lui associa *M. Ed. Becquerel* est du maillechort (90 de cuivre et 10 de nickel), la pile est chauffée au gaz et refroidie par une circulation d'eau (1).

Pile thermo-électrique de Noë. — L'usage de cette pile est très répandu en Autriche et en Allemagne. Sous la forme représentée figure 21 elle n'exige que deux brûleurs Bunsen pour mettre en action quarante éléments, trois pour soixante éléments et ainsi de suite par groupe de vingt, suivant les applications qu'on a en vue.

Les éléments dans chaque groupe sont placés horizontalement et se présentent comme les rayons d'un cercle, les sou-

(1) Voir la description et les dessins dans le *Traité élémentaire de physique* de Ganot, 17^e édition.

dures chaudes au centre, les soudures froides à la circonférence.

Les deux métaux employés sont du maillechort ou *argentan*,

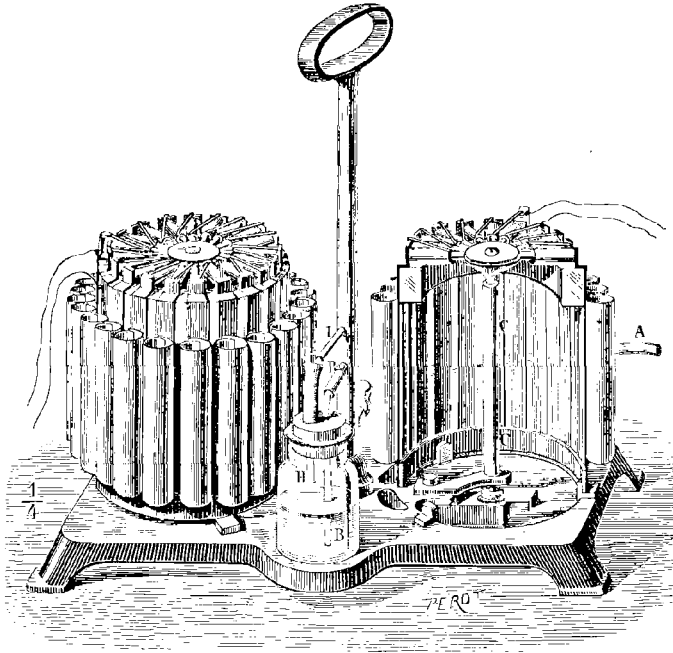


Fig. 21. — Pile thermo-électrique de Noë.

et un alliage d'antimoine et de zinc. A la soudure chaude, ces métaux sont soudés ensemble sans l'intermédiaire d'aucun autre métal ; les fils de maillechort

penètrent par leur extrémité dans une petite capsule de laiton qui sert de fond au moule dans lequel on coule l'autre métal. La figure 22 représente deux éléments séparés en grandeur naturelle,

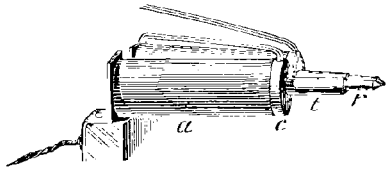


Fig. 22. — Détails d'un élément de la pile thermo-électrique de Noë.

la petite capsule *c* reste attachée à l'élément et fait partie de l'appareil. Dans cette même capsule pénètre une petite tige de

cuivre rouge r , dont l'extrémité se trouve également saisie dans le métal fondu et qui amène la chaleur à la soudure chaude par conductibilité.

Les extrémités de ces tiges de cuivre forment un petit cercle, saisies entre deux lames de mica et chauffées toutes à la fois par une flamme unique, un brûleur de Bunsen le plus souvent. On emploie quelquefois une lampe à esprit-de-vin.

En chauffant les soudures par conductibilité, on les ménage et on les protège contre le surchauffage qui aurait pour effet de fondre le métal et de mettre la pile hors de service. On évite la perte de chaleur par rayonnement de ces petites tiges de cuivre en les recouvrant d'un petit tube isolant t (fig. 22).

Pour la soudure froide, le métal fusible est soudé à une plaque de cuivre à laquelle on soude les fils de maillechort de l'élément suivant; la plaque de cuivre de forme cylindrique présente une grande surface de rayonnement favorable à son refroidissement, auquel contribue d'ailleurs la circulation d'air qui se fait à l'intérieur des tubes de cuivre.

Si l'on se met dans les meilleures conditions possibles, c'est-à-dire en chauffant les soudures à un degré très voisin de leur point de fusion, les éléments Noé, d'après les expériences de M. Waltenhofen, ont une force électromotrice comprise entre $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{10}$ de volt.

En pratique, ces chiffres ne sont pas atteints, car on ne peut pas chauffer également tous les éléments, et il faut compter sur une moyenne de $\frac{1}{16}$ de volt par élément; dans ces conditions, la résistance est égale à $\frac{1}{40}$ d'ohm.

Chaque groupe de vingt éléments a donc une force électromotrice de 1,25 volts et une résistance intérieure de 0,5 ohm.

Signalons, comme perfectionnement pratique, un régulateur de la pression du gaz qui évite un surchauffage de la pile et les accidents qui en dérivent.

Cet appareil de sûreté consiste en un flacon de verre (fig. 21) contenant de l'eau et fermé par un bouchon de liège. Deux tubes y pénètrent: le premier BB est un branchement du tube d'arrivée du gaz et va jusqu'au fond du flacon; le second H n'arrive pas

jusqu'au niveau de l'eau, il sert à évacuer le gaz qui peut se dégager dans le flacon et l'amène devant un autre petit branchement terminé par un bec de gaz I, constamment allumé. Si la pression pour laquelle l'appareil est réglé est dépassée, le gaz sort en bulles dans le flacon, traverse l'eau, sort en G et s'enflamme pour ne pas produire d'accidents ou répandre une mauvaise odeur. Le flacon fonctionne donc comme une véritable soupape de sûreté.

Il suffit de deux minutes pour que la pile fournisse le courant, et l'on peut arrêter le fonctionnement dès qu'on n'a plus besoin d'électricité. La pile ne s'altère pas avec le temps comme les autres piles décrites jusqu'ici, dans lesquelles le chauffage continu produirait une augmentation considérable de la résistance intérieure et par suite un affaiblissement correspondant dans l'intensité du courant dans le circuit extérieur.

Pile Mure et Clamond. — La première pile construite par M. *Clamond*, en collaboration avec M. *Mure*, fut présentée à l'Institut par Becquerelle le 31 mai 1860. Elle était formée de galène et de lames de plomb. Par l'usage, cette pile diminuait d'intensité, par suite de l'augmentation de résistance intérieure provenant de l'oxydation des contacts des lames de fer avec le barreau cristallisé sous l'influence de la chaleur, et, en second lieu, de la fendillation du barreau et de la séparation de ses différentes parties suivant des plans perpendiculaires à sa longueur.

Pile Clamond. — Le 20 avril 1874, M. Jamin a présenté à l'Académie des sciences une nouvelle pile de M. *Clamond* chauffée au gaz, dans laquelle ces inconvénients sont évités. M. *Clamond* a adopté, pour la confection de ses couples, l'alliage de zinc et d'antimoine de *Marcus*, qui est bon conducteur de l'électricité et qui rend la fabrication par coulage beaucoup plus facile. L'armature est formée de lames de fer de préférence au cuivre et à l'argentan, parce que le fer résiste très bien, tandis que ces métaux, attaqués et dissous par l'alliage, sont mis rapidement hors de service. Les barreaux sont assemblés en couronnes et accouplés en tension.

Ces couronnes superposées, de dix éléments chacune, sont sé-

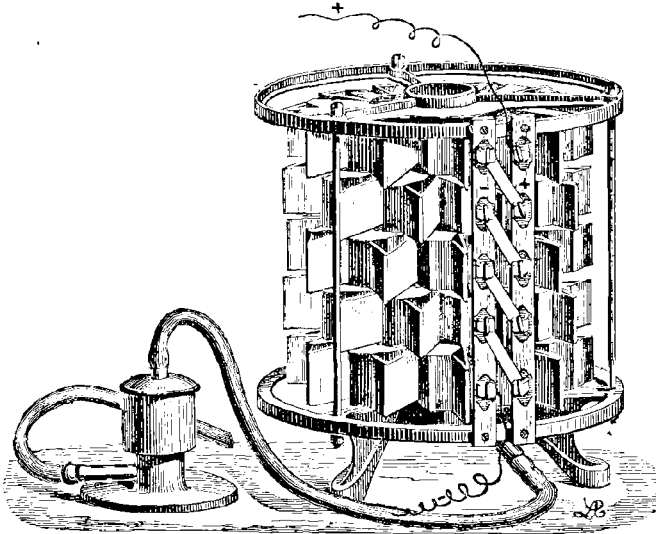


Fig. 23. — Pile thermo-électrique de M. Clamond, chauffée au gaz.

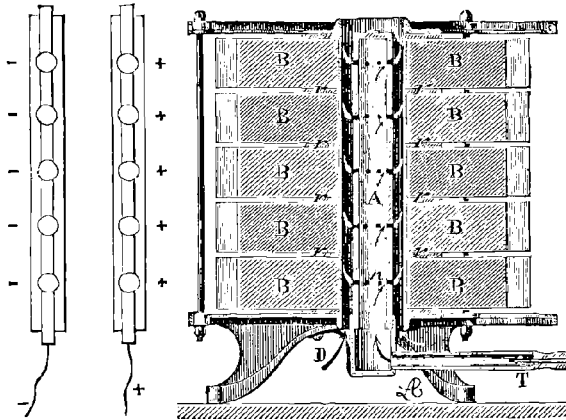


Fig. 24. — Pile thermo-électrique de M. Clamond, coupe suivant l'axe vertical.

T. Tubulure servant à l'arrivée du gaz. — A. Tuyau en terre réfractaire percé de trous à travers lesquels s'échappe le gaz mélangé d'air pour brûler dans l'espace annulaire extérieur. — D. Prise d'air servant à la combustion. — B, B. Barreaux thermo-électriques. — *r, r*. Rondelles en amiante servant à isoler les éléments du générateur.

parées par des rondelles d'amiante. Le tout forme un cylindre

luté à l'intérieur par de l'amianté (fig. 24) et chauffé au gaz à l'aide d'un tuyau réfractaire percé de trous. Le gaz, mêlé à l'air, sort de ce tuyau et vient brûler dans l'espace annulaire compris entre le tube et les barreaux. Les extrémités des couronnes viennent aboutir à des pinces en cuivre fixées sur deux planchettes, ce qui permet l'accouplement des couronnes de dix éléments en tension ou en quantité. On règle la dépense de gaz par un rhéomètre Giroud. Les figures 23, 24 et 25 représentent la vue extérieure, la coupe longitudinale et le plan d'une couronne de la pile Clamond; les légendes qui accompagnent la coupe et le plan suffisent pour en faire comprendre les dispositions. Cet appareil de cinquante éléments dépense 0 fr. 03 de gaz à l'heure et peut déposer 20 grammes de cuivre à l'heure. Il est employé par l'imprimerie de la Banque de France et les ateliers d'héliogravure de MM. Goupil et C^{ie} à Asnières.

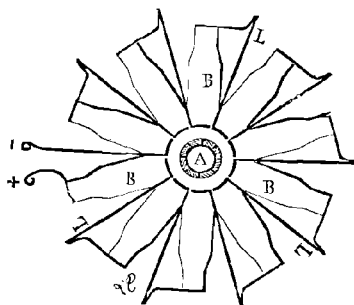


Fig. 25. — Pile thermo-électrique de M. Clamond.

Vue en plan des barreaux assemblés et de leurs armatures. — B, B. Barreaux thermo-électriques. — L, L. Lames formant armatures.

le 5 mai 1879, M. le comte du Moncel a présenté à l'Académie des sciences une nouvelle pile beaucoup plus puissante que ses devancières, avec laquelle on a pu obtenir de la lumière électrique.

L'ensemble de l'appareil comprend trois parties :

- 1° Le foyer et le collecteur, dont le but est de chauffer les soudures intérieures de la pile;
- 2° La pile proprement dite, disposée en couronne;
- 3° Le diffuseur, qui a pour but de refroidir les soudures extérieures.

Foyer et collecteur. — Le chauffage de la pile se fait à la

houille ou au coke. Les gaz de la combustion, en sortant du foyer G (fig. 26), traversent un conduit cylindrique en fonte C, redescendent en D par une série de carneaux disposés en couronne, remontent en E dans une seconde série de carneaux et s'échappent finalement dans l'atmosphère par une cheminée A. Le

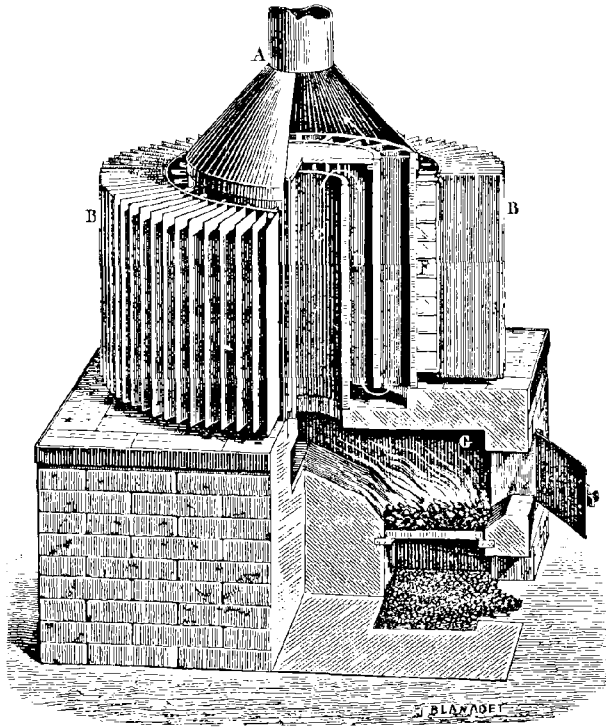


Fig. 26. — Pile thermo-électrique de M. Clamond, chauffage au coke.

chauffage des éléments n'est donc pas *direct*; il n'y a même aucun contact entre les éléments et les gaz chauds, mais ces gaz chauffent la masse de fonte dans laquelle ils circulent, cette masse agit comme *collecteur* de chaleur, la communique aux éléments en la répartissant d'une manière plus uniforme.

Pile. — La pile se compose d'une série de *chaînes* disposées en couronne autour du collecteur et chauffées par leur face inté-

rière. La pile de 3000 couples comprend 60 chaînes de 50 couples chacune.

Chaque couple se compose d'un barreau thermo-électrique de 3 centimètres de longueur, autant de largeur et 3 centimètres d'épaisseur. Ces petits prismes sont formés d'un alliage de bismuth et d'antimoine et reliés entre eux par des armatures en fer. Ces armatures sont découpées dans des feuilles de tôle mince et tordues à leurs extrémités et en tire-bouchon. Pour fabriquer une chaîne, on dispose dans un moule spécial une série de ces armatures après avoir entouré la partie pleine d'un carton d'amiante, et on coule l'alliage

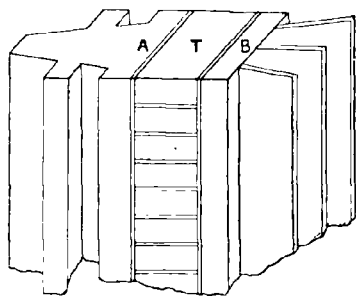


Fig. 27. — Pile Clamond.

A, collecteur. — T, chaîne thermo-électrique.
B, diffuseur.

dans le moule. Les cinquante éléments sont ainsi fabriqués d'un seul coup, les armatures sont reliées à deux couples successifs par une *soudure autogène*. Les chaînes sont disposées verticalement et en couronne entre le collecteur A et le diffuseur B (fig. 27) en disposant entre eux les chaînes des lames minces de mica qui les isolent électriquement, tout en se laissant traverser par la chaleur.

Dans la pile de 6000 éléments, on établit deux groupes de 3000 éléments chacun disposés en tension. Pour une température des soudures chaudes de 360° et une température de 80° pour les soudures froides, les 3000 éléments développent, d'après les expériences de M. G. Cabanellas, une force électro-motrice de 109 volts et ont une résistance intérieure de 13,5 ohms.

Diffuseur. — Le but du diffuseur est de maintenir les soudures extérieures des chaînes à une température aussi basse que possible, température qui, en pratique, ne dépasse pas 80°. Il se compose d'une série de lames de cuivre placées tout autour de la pile et qui augmentent la surface de refroidissement. Ces lames

sont représentées en B (fig. 27). La pile à coke de M. Clamond est donc un véritable *calorifère électrique*, et comme tel pourrait être établie dans tous les cas où un calorifère trouve son emploi. Le modèle de 6000 couples brûle de 9 à 10 kilogrammes de coke par heure. En disposant deux circuits de 3000 éléments chacun, on peut alimenter deux lampes Serrin qui fournissent une lumière de 30 à 50 becs chacune.

Bien que jusqu'ici le rendement des piles thermo-électriques, c'est-à-dire le rapport de la chaleur dépensée à la chaleur transformée en électricité, soit très faible, ces appareils sont intéressants, car ils transforment *directement* la chaleur en électricité, tandis que les machines électro-dynamiques, que nous allons examiner maintenant, passent par des intermédiaires complexes.

Signalons une application de la pile thermo-électrique à la mesure des forces électromotrices faite par Gauguain, à l'administration des lignes télégraphiques. *Gauguin* employait des couples bismuth-cuivre disposés en fer à cheval les uns à côté des autres sur une traverse de bois qui permet de les soulever ou de les plonger d'un seul coup dans des bains, dont l'un est de l'eau distillée à 0° et l'autre de la paraffine chauffée à 100°. La pile ainsi constituée a une force électro-motrice *constante*, elle forme donc une excellente *pile-étalon*. Sa force électro-motrice est de $\frac{1}{182}$ de volt ; en disposant 182 éléments *en tension*, et en maintenant les soudures exactement aux températures de 0° et 100°, on aura une pile dont la force électro-motrice sera de un volt d'une manière exacte.

Les applications des piles thermo-électriques sont restées malheureusement jusqu'ici, malgré d'encourageantes expériences, dans le domaine de la science pure, sauf les quelques applications faites par la Banque de France et la maison Goupil à des dépôts électro-chimiques.

Les recherches des électriciens sont dirigées aujourd'hui d'un tout autre côté, aussi n'avons-nous aucun progrès à signaler dans ces piles depuis 1879.

CHAPITRE IV

GÉNÉRATEURS MÉCANIQUES D'ÉLECTRICITÉ. MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES ET DYNAMO- ÉLECTRIQUES.

La transformation du travail en électricité est le moyen le plus compliqué pour produire un courant électrique ; il est cependant jusqu'ici le plus économique et de beaucoup le plus employé dans toutes les applications qui exigent des courants puissants. Le développement immense qu'a pris l'usage des machines ne date que de quelques années, bien que la découverte du principe fondamental de *toutes* les machines ait été faite en 1830 par *Faraday*.

Elle avait d'ailleurs été préparée par l'expérience d'OErsted montrant, dès 1820, l'action d'un courant sur l'aiguille aimantée, et par Arago quelque temps après, qui découvrit l'aimantation produite par un courant. Puisque l'on connaissait dès 1820 l'action des courants sur les aimants et leur action aimantante sur le fer doux, en raisonnant par le système des réciproques, on aurait pu déduire *a priori* de ce phénomène qu'un aimant permanent, réagissant sur un circuit fermé disposé en spirale, devait déterminer dans ce circuit un courant électrique ; mais ce ne fut qu'en 1830, que l'illustre physicien anglais Faraday constata le premier ce phénomène et en détermina les différents caractères.

Phénomènes généraux de l'induction. — Les phénomènes généraux de l'induction s'expliquent très simplement à l'aide d'un petit nombre de principes et de faits que nous allons résumer rapidement, et dont l'intelligence facilitera et abrégera beaucoup la description des machines que nous devons examiner.

L'espace qui entoure un aimant permanent ou un électro-aimant se nomme un *champ magnétique*; ce champ est caractérisé par la présence de *lignes de force* ou *lignes d'induction magnétique*, que l'on met facilement en évidence par l'expérience bien connue des *fantômes* ou *spectres magnétiques*. Le champ magnétique en un point donné est défini lorsqu'on connaît la direction de ces lignes de force, leur sens et leur nombre.

Plus le champ est intense, plus leur nombre est grand; dans le cas particulier où ces lignes de force sont parallèles et équidistantes, on dit que le champ magnétique est *uniforme* (1).

Le sens des lignes de force d'un champ magnétique est défini par la direction que prendrait un pôle nord libre de se mouvoir dans le champ. Par définition, les lignes de force d'un barreau aimanté sortent du pôle nord et rentrent dans le pôle sud.

La direction des lignes de force est donnée par les fantômes.

Déplaçons un conducteur dans ce champ magnétique, de façon à lui faire *couper* les lignes de force. *Pendant tout le temps du déplacement*, ce conducteur sera le siège d'une force électromotrice, et, s'il forme un circuit fermé, il sera traversé par un courant tant que le conducteur se déplacera en coupant des lignes de force. C'est là le phénomène général de l'induction dont toutes les machines magnéto et dynamo-électriques ne sont que des cas particuliers.

La force électromotrice développée sera d'autant plus intense que le champ sera plus intense et que la vitesse du déplacement sera plus rapide, c'est-à-dire que le nombre de lignes de force coupées par le conducteur dans l'unité de temps sera plus grand. On multipliera encore la force électromotrice en multipliant le nombre de conducteurs et en ajoutant les actions en tension, c'est-à-dire en employant des *bobines* au lieu d'un conducteur unique.

Il nous reste maintenant à définir le *sens* du courant induit ainsi développé par déplacement relatif du conducteur et du champ, ce qui nous sera facile à l'aide de quelques nouvelles définitions.

(1) A une certaine distance d'un aimant, le champ magnétique est uniforme lorsqu'on ne considère qu'une portion très petite de ce champ. Le champ magnétique terrestre est aussi un champ uniforme.

L'espace qui entoure un conducteur traversé par un courant se nomme *champ galvanique*, il est caractérisé par la présence de *lignes de force* analogues à celle du champ magnétique d'un aimant permanent, mais différentes par leurs formes, car elles constituent de véritables cercles ou *tourbillons* autour du conducteur qui les développe. Si le conducteur est roulé en forme de cercle, les lignes de force de ce conducteur prennent la même forme que celles d'un aimant plat circulaire, sans épaisseur, dont une des faces serait un pôle nord et l'autre face un pôle sud. On donne à ce système le nom de *feuillelet magnétique*.

Un aimant et un feuillelet magnétique exercent entre eux les mêmes actions que deux aimants; ils s'attirent ou se repoussent suivant la direction de leurs lignes de force mutuelles.

Dans le feuillelet magnétique, les lignes de force sont dirigées de telle façon qu'en regardant la face par laquelle elles *sortent* du feuillelet (pôle nord), le courant circule en sens inverse des aiguilles d'une montre, et qu'en regardant la face par laquelle elles entrent dans le feuillelet (pôle sud), le courant circule dans le sens des aiguilles d'une montre.

Pour déterminer quelle sera l'action de l'aimant et du feuillelet, il suffit de se rappeler les propriétés des lignes de force, propriétés que Faraday exprime en ces termes :

1° *Les lignes de force tendent à se raccourcir ;*

2° *Deux lignes de force parallèles et de même sens se repoussent.*

En vertu de ces propriétés, il y aura attraction ou répulsion entre l'aimant et le feuillelet suivant que les lignes de force seront de même sens ou de sens contraire. Clerk-Maxwell a donné une règle fort élégante pour déterminer l'action dans chaque cas en disant que *le circuit agit sur l'aimant de manière à embrasser le plus grand nombre de lignes de force possible.*

Lorsque nous produisons le déplacement relatif d'un aimant et d'un circuit, appelons courant *direct* celui qui, d'après les propriétés des lignes de force et la règle de Maxwell, tendrait à rendre maximum le nombre de lignes de force embrassées par le circuit, et courant *inverse*, le courant de sens contraire.

Ceci posé, rien de plus simple que de prévoir le sens du courant développé dans chaque cas :

Le courant induit est *inverse* chaque fois que le mouvement relatif est conforme à la règle de Maxwell, c'est-à-dire chaque fois qu'il y a *augmentation* du nombre de lignes de force embrassées par le circuit, et *direct* chaque fois qu'il y a *diminution* dans le nombre de lignes de force embrassées par le circuit.

Cette manière d'envisager l'induction ramène à un effet unique tous

les modes divers d'induction dont on fait souvent un grand nombre de classes distinctes.

Ainsi, par exemple, les effets produits par la bobine de Ruhmkorff rentrent très simplement dans la règle précédente.

En effet, lorsqu'on ferme le circuit inducteur, le courant induit de fermeture doit être inverse, puisque le nombre de lignes de force du champ passe de zéro à un maximum, tandis que le courant induit de rupture doit être direct, puisque le nombre de lignes de force du champ passe d'un maximum à zéro.

Les courants d'aimantation et de désaimantation s'expliquent aussi simplement par l'accroissement et la diminution du nombre de lignes de force; les courants dits d'*interversion polaire* résultent de la diminution jusqu'à zéro, puis de l'augmentation du nombre de lignes de force que traverse une bobine; mais comme ces lignes de force changent de direction en même temps que la variation de leur nombre change de signe, ce double changement équivaut à un redressement, et le courant conserve la même direction pendant le phénomène dit de l'interversion polaire. Il n'y a donc pas lieu d'en faire une classe distincte, comme le veulent encore certains auteurs.

Lorsqu'on considère les courants d'induction au point de vue de la conservation de l'énergie, on peut dire que, dans chaque cas, le courant induit tend à s'opposer au mouvement. Il faut donc, pour vaincre cette résistance, dépenser une certaine quantité de travail mécanique équivalente à l'énergie électrique produite.

C'est *Lenz* qui a le premier formulé sous cette forme les lois de l'induction.

La loi de *Lenz* et les propriétés des lignes de force de Faraday suffisent pour expliquer le mode d'action de toutes les machines magnéto et dynamo-électriques actuelles.

Dans le cas particulier d'un conducteur rectiligne se mouvant dans un champ magnétique uniforme, le conducteur coupera le plus grand nombre de lignes de force lorsqu'il sera normal à la direction de ces lignes de force et qu'il se déplacera perpendiculairement au plan passant par sa propre direction et par celle des lignes de force.

Pour déterminer le sens du courant, nous ne pouvons pas faire usage de la règle de Maxwell, puisqu'il n'y a pas déplacement du circuit fermé tout entier dans le champ magnétique. Voici une règle pratique analogue à celle d'Ampère pour l'action d'un courant sur l'aiguille aimantée, et qui permet de déterminer très simplement le sens de ce courant.

Si l'on suppose un observateur couché suivant une des lignes de force, de façon qu'elle lui entre par les pieds et que cet observateur re-

garde dans la direction du déplacement du conducteur, le courant induit ira, dans le conducteur, de sa gauche à sa droite.

Classification des générateurs mécaniques d'électricité. — Dans tout générateur mécanique d'électricité on trouve toujours deux parties fondamentales, nécessaires, indispensables, l'*inducteur* et l'*induit*. En faisant mouvoir l'inducteur devant l'induit ou, le plus souvent, l'induit devant l'inducteur, il se développe dans le fil de l'induit des courants électriques dont nous avons défini la nature, l'intensité et le sens. On sait que, pour obtenir des courants puissants, il faut faire mouvoir les induits avec une grande vitesse devant des inducteurs puissants. Toute disposition permettant d'obtenir ce résultat est un générateur mécanique d'électricité.

Le rôle de l'inducteur est de créer autour de lui un *champ magnétique*. Ce champ magnétique peut être produit de deux façons très différentes qui constituent la première distinction à établir entre les machines.

Si le champ magnétique de l'inducteur dans lequel se meut l'induit est produit par un *aimant fixe* et permanent, la machine est dite *magnéto-électrique*.

Si le champ magnétique est constitué par un *électro-aimant*, ce qui augmente son intensité, les électro-aimants étant, à poids égal, beaucoup plus puissants que les aimants permanents, la machine est dite *dynamo-électrique*. Ce nom assez impropre, puisqu'il ne rappelle que très indirectement le moyen par lequel le champ magnétique est constitué, est cependant universellement consacré par l'usage, et nous le conserverons.

La division ci-dessus repose sur la nature de l'inducteur; il en existe une seconde, plus importante encore peut-être, fondée sur la nature des courants recueillis hors de la machine sur le circuit extérieur.

D'après les lois de Lenz, lorsqu'un élément de spire d'un induit se meut dans un champ magnétique, le courant engendré dans cet élément circule tantôt dans un sens et tantôt dans un autre; il est *alternatif*.

Lorsque la machine recueille directement les courants alternatifs ainsi développés sans les redresser, c'est-à-dire sans les faire passer toujours dans le même sens dans le circuit extérieur, elle est à *courants alternatifs*.

Si, au contraire, la machine redresse les courants alternatifs et les fait circuler toujours dans le même sens, dans le circuit extérieur, elle est à *courant continu*.

Nous étudierons seulement les types les plus employés de ces différentes classes de machines :

A. MACHINES A COURANT CONTINU....	{	a. Magnéto-électriques.
		b. Dynamo-électriques.
B. MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS.	{	c. Magnéto-électriques.
		d. Dynamo-électriques.

A. — MACHINES A COURANTS CONTINUS.

a. Machines magnéto-électriques.

Bien que la découverte de l'induction remonte à Faraday en 1830, ce fut seulement le 31 janvier 1832 que Nobili obtint pour la première fois, à Florence, l'*étincelle* produite par un effet d'induction, mais il n'y avait pas encore de courant proprement dit. La première machine fournissant un *courant* fut construite par Hippolyte Pixii, de Paris, et présentée à l'Académie des sciences le 3 septembre 1832.

Machine de Pixii. — Nous ne citons cette machine historique que pour signaler une particularité assez curieuse et que nous ne retrouverons dans aucune autre machine magnéto-électrique. L'appareil bien connu se compose de deux bobines et d'un aimant en fer à cheval dont les pôles sont placés en face des bobines, et tournent de façon à venir présenter successivement leurs deux pôles devant les extrémités des bobines. La particularité consiste en ce qu'au lieu de faire mouvoir l'induit dans le champ magnétique, on fait mouvoir le champ magnétique devant l'induit ; mais cette disposition ne change rien au

principe. Les courants ainsi développés sont alternatifs, mais, à l'aide d'un *commutateur* imaginé par Clarke, on redressa les courants, et la machine de Pixii fut la première machine à courants continus ou plutôt redressés.

Machine de Saxton. — La machine de Saxton est disposée comme la machine de Pixii, c'est-à-dire que l'aimant et les bobines sont placés bout à bout, mais les aimants sont fixes et les bobines mobiles. Il en résulte que, la masse à mettre en mouvement étant moins grande, la machine peut être plus légère à puissance égale.

Machine de Clarke. — En 1834, Clarke construisit une machine dans laquelle l'aimant était vertical et les bobines horizontales; elles se présentaient donc à l'inducteur non plus par les bouts, mais par les faces aplaties de l'aimant en fer à cheval. C'est sous cette forme que les machines magnéto-électriques se sont répandues dans tous les cabinets de physique et qu'aujourd'hui encore on les emploie en médecine.

Machine de Page. — En 1833, Page, en Amérique, fit une machine dans laquelle l'aimant et les bobines étaient fixes, celles-ci entourant celui-là. Le courant était engendré par le mouvement rapide d'une armature en fer doux tournant devant les extrémités de l'aimant, et produisant des courants alternatifs par surexcitations et affaiblissements successifs du champ magnétique; ces courants étaient ensuite redressés à la manière ordinaire par un commutateur de Clarke.

Toutes ces machines et plusieurs autres basées sur les mêmes principes n'étaient encore que des appareils de faible puissance dont les applications restaient fort restreintes. En 1848, *Nollet*, alors professeur de physique à l'école militaire de Bruxelles, se proposa de construire une machine de Clarke de grandes proportions et créa la machine connue aujourd'hui sous le nom de *Machine de l'Alliance*.

Les appareils de Nollet ne purent donner de bons résultats que lorsque *Masson*, professeur à l'École centrale, suggéra à *Van Malderen*, ingénieur de la compagnie *l'Alliance*, l'idée de ne pas

redresser inutilement les courants et de transformer la machine à courant continu en machine à courants alternatifs; nous y reviendrons plus tard lorsque nous parlerons de ces machines.

Bobine de Siemens. — En 1854, M. *W. Siemens*, de Berlin, fit faire un grand progrès à la question en imaginant la bobine qui porte son nom et que nous retrouverons dans un grand nombre d'appareils, tels que ceux de Wilde, Ladd, etc.

La bobine de Siemens est un cylindre de fer doux portant deux rainures longitudinales parallèles à son axe qui lui donnent, en section transversale, la forme d'un double T. Ces rainures servent à loger un fil de cuivre isolé, roulé un grand nombre de fois sur lui-même, et dont les extrémités viennent se fixer aux deux moitiés d'un commutateur redresseur de courants, comme dans les machines de Clarke. En faisant tourner rapidement cette bobine entre les pôles d'un aimant, il se développe dans le fil des courants d'induction dus aux polarités alternativement inverses que prennent les deux pôles allongés de la bobine, ces courants sont ensuite redressés et recueillis à la manière ordinaire. En 1879, M. *Marcel Deprez* a modifié la machine de Siemens en disposant l'axe de la bobine parallèlement aux branches de l'aimant. Nous parlerons de cette modification à propos des moteurs électriques, car toutes les machines électrodynamiques à courant continu sont *réversibles*, c'est-à-dire que, si elles développent de l'électricité en dépensant du travail, elles peuvent, en leur faisant dépenser de l'électricité fournie par une source quelconque, développer du travail.

Pour clore la série de machines magnéto-électriques à courant continu, nous aurions encore à parler des machines de Gramme, modèle de laboratoire, mais nous sommes obligé de réserver leur description.

Il se place, en effet, entre la bobine de Siemens de 1854 et l'anneau de Gramme qui date de 1870, toute une série de principes nouveaux que nous devons exposer avant de parler d'une invention qui a fait faire des progrès si rapides à la production mécanique de l'électricité.

b. Machines dynamo-électriques à courant continu.

Nous savons que le courant électrique est engendré, dans les machines électro-dynamiques, en faisant mouvoir rapidement le fil induit des bobines dans un champ magnétique intense formé par l'inducteur. La puissance des courants produits dépend en grande partie de la puissance du champ magnétique.

Machine de Wilde. — Comme, à poids égal, un électro-aimant produit un champ magnétique beaucoup plus intense qu'un aimant en acier, *M. Wilde* pensa qu'en employant des électro-aimants au lieu d'aimants pour inducteurs, on augmenterait beaucoup l'intensité des courants induits. C'est là le principe des *dynamos*, ainsi nommées, assez improprement d'ailleurs, par opposition aux *magnétos*, dans lequel le champ magnétique est formé par des *aimants*, au lieu d'*électro-aimants*.

La machine de *Wilde*, qui figura à l'Exposition universelle de 1867, se composait en réalité de deux machines superposées. La première était une machine magnéto-électrique de *Siemens* qui envoyait le courant dans deux électro-aimants de grande dimension servant d'inducteurs à une seconde bobine de *Siemens* constituant le circuit extérieur.

La petite machine de *Wilde* sert à alimenter, à *exciter* les inducteurs de la seconde bobine; on lui donne pour cette raison le nom de *machine excitatrice*.

Machine de Ladd. — La machine de *Ladd* est la première application d'un nouveau principe découvert en même temps par *Wheatstone* et *Siemens*, et présenté à la Société royale de Londres *le même jour*, le 14 février 1867.

Ce principe est celui de l'accroissement successif de puissance d'un système électro-magnétique sous l'influence des courants d'induction qu'il développe. Il suffit pour cela d'une trace de magnétisme provenant, soit de l'action momentanée d'une pile, soit de l'action magnétique du globe terrestre, soit du magnétisme rémanent, pour produire l'action amorçante et l'accrois-

sement de magnétisme jusqu'à un certain maximum dépendant de la vitesse de rotation de la bobine, des résistances du circuit et du point de saturation magnétique de ses inducteurs.

Dans la machine de Ladd, construite sur ce principe, on retrouve les deux bobines de Siemens employées par Wilde; seulement l'aimant permanent est supprimé.

L'électro-aimant est formé de deux larges plaques de fer entourées de fil et formant ainsi deux électro-aimants droits dont les pôles en regard sont de noms contraires; les deux bobines de Siemens sont disposées transversalement aux deux extrémités de ces électro-aimants. L'une d'elles, la plus petite, envoie le courant qu'elle engendre dans les électro-aimants pour entretenir son magnétisme, la seconde est utilisée à l'alimentation du circuit extérieur.

Il suffit d'une trace de magnétisme rémanent dans les plaques des électro-aimants pour produire, par suite des surexcitations successives, un courant très intense qui donne aux électro-aimants une grande puissance et développe ainsi un champ magnétique d'une très grande intensité.

L'électricité produite par cette machine, eu égard à ses faibles dimensions, étonna beaucoup les visiteurs de l'Exposition de 1867. Aujourd'hui ces résultats sont dépassés de beaucoup par les machines de Gramme et de Siemens.

La grande vitesse donnée aux bobines dégagait une chaleur considérable dans la machine, chaleur due aux changements rapides de magnétisme du fer doux. D'autre part, l'emploi de deux bobines distinctes compliquait la transmission de mouvement, car il fallait deux poulies et deux courroies.

Ruhmkorff simplifia la machine de Ladd en disposant les deux bobines sur le même axe à angle droit; l'électro-aimant inducteur est en forme de fer à cheval; on n'a alors qu'un seul axe à mettre en mouvement.

Dans les machines construites par M. *Gaiffe*, il n'y a même qu'une seule bobine sur laquelle on roule deux fils complète-

ment distincts dont l'un sert à alimenter les inducteurs et l'autre correspond au circuit extérieur.

Les modèles de MM. Gaiffe et Ruhmkorff sont de petites dimensions et ne constituent que des appareils d'expériences et de laboratoire. Quant aux machines originales de Wilde et de Ladd, capables de fournir des courants assez puissants pour produire la lumière électrique, il n'en a pas été construit d'autres depuis les nouvelles machines de Gramme, Siemens, Lontin, etc.

Modes d'excitation des inducteurs dans les machines dynamo-électriques. — Quelle que soit la forme de l'induit, on peut diviser les machines dynamo-électriques en quatre classes qui se distinguent par le mode d'excitation des électro-aimants inducteurs.

1^{re} classe. — Dans la machine de Ladd, qui est le type de cette

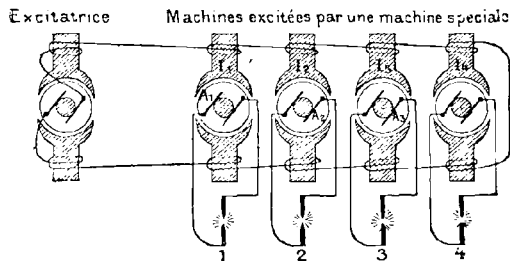


Fig. 28. — Exemple de machines excitées par une excitatrice séparée. L'excitatrice appartient elle-même à la deuxième classe.

classe, les inducteurs sont excités par un circuit distinct, parfaitement séparé, alimenté par une machine spéciale. Souvent même, la même excitation sert pour plusieurs machines distinctes : la figure 28 ci-dessus représente une disposition dans laquelle la machine excitatrice s'excite elle-même ainsi que les inducteurs de quatre autres machines alimentant quatre arcs voltaïques distincts.

2^e classe. — Les électro-aimants formant le champ magnétique sont disposés *dans le même circuit* que l'induit et le circuit extérieur. C'est la disposition imaginée par Wheatstone et Siemens

en 1867 et appliquée aujourd'hui à un grand nombre de machines dynamo-électriques.

La figure 29 montre cette disposition spéciale. Le courant continu produit par l'induit A traverse les deux inducteurs I et I', en même temps que l'arc qu'il alimente. Le champ magnétique dépend donc de la puissance du courant qui traverse les inducteurs, c'est-à-dire du courant général.

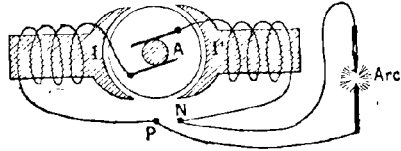


Fig. 29. — Diagramme du montage ordinaire d'une machine dynamo-électrique alimentant un arc voltaïque (2^e classe).

On les désigne sous le nom de *séries-dynamos*.

3^e classe. — La disposition qui caractérise les machines de cette classe a été aussi imaginée par Wheatstone dès 1867, mais elle n'a été reprise industriellement qu'en 1880 par M. Siemens. Cette disposition consiste à disposer les inducteurs *en dérivation* sur le circuit, au lieu de les placer dans le circuit même, à la condition de disposer sur ces inducteurs un fil assez long et assez résistant. Il en résulte pour la machine des conditions de fonctionnement beaucoup plus favorables à la régularité du courant. On les désigne sous le nom de *shunt-dynamos*.

4^e classe. — Cette classe comprend un grand nombre de variétés, car les machines qui la composent résultent de la combinaison deux à deux des excitations simples des trois premières classes. On les désigne sous le nom de *machines à double excitation* ou de *compound-dynamos*.

Le principe consiste à enrouler les inducteurs de deux fils distincts de longueurs et de diamètres appropriés, l'un d'eux est dans le circuit général comme dans les séries-dynamos; l'autre circuit est alimenté soit par une excitatrice distincte, soit par une dérivation prise en deux points du circuit de la génératrice elle-même. A propos des diverses applications, nous indiquerons les avantages particuliers que chacun des montages présente.

Principe de la machine de Gramme. — Depuis la découverte de Siemens et Wheatstone, on n'a pas à signaler de

plus grand progrès dans la production mécanique de l'électricité que l'invention faite en 1870, par un ancien ouvrier de la Compagnie *l'Alliance*. C'est grâce à la machine de M. Gramme (Zénope-Théophile) que les applications de l'électricité à l'éclairage, à la galvanoplastie et au transport de la force motrice ont régné depuis quelques années de si grands développements.

L'induit mobile de Gramme présente l'aspect d'un *anneau* tournant autour de son centre et dans son plan; on peut le concevoir comme formé par un électro-aimant droit qu'on aurait courbé en cercle et qu'on aurait soudé par ses extrémités, le fer avec le fer, le fil avec le fil.

Remarquons que l'idée d'employer un anneau pour constituer l'induit mobile n'est pas nouvelle. On pourrait la faire remonter à Page qui, dès 1832, construisit un *moteur* fondé sur ce principe. En 1861, M. Pacinotti construisit aussi un moteur dont le principe était identique à celui de l'anneau de Gramme (1), et dont il publiait une description complète en 1869, dans *Il nuovo cimento*. La machine Pacinotti a figuré à l'Exposition de 1881, et a valu à son inventeur un diplôme d'honneur.

Sa priorité et son identité de principe avec la machine Gramme ne peuvent plus être contestées aujourd'hui, mais on doit regretter que M. Pacinotti n'ait pas eu, comme M. Gramme, conscience de l'importance de sa découverte, et n'ait pas fait tous ses efforts pour la rendre pratique et industrielle.

La machine de Gramme, malgré la priorité de M. Pacinotti, a donc une valeur réelle et absolument personnelle, justifiée d'ailleurs par son succès dans les applications que nous examinerons au cours de ce volume.

Pour comprendre l'action de la machine de Gramme, reportons-nous à l'expérience la plus simple de l'induction.

Considérons un barreau aimanté d'un mètre de long et une spire de fil conducteur en mouvement réciproque; si on approche la spire du barreau, il s'y développe un courant d'induction.

(1) Voir *l'Électricien* du 13 novembre 1881.

Supposons que le barreau pénètre dans la spire par une série de mouvements successifs d'égale étendue. On observe qu'à chacun de ces mouvements correspond un courant d'induction; tous ces courants sont de même sens jusqu'à ce que la spire arrive en face de la ligne neutre; ils changent de sens si l'on continue le mouvement dans le même sens au delà du point neutre. Que se passe-t-il dans l'anneau de Gramme? L'anneau de fer est aimanté par l'influence de l'aimant, et le magnétisme s'y trouve distribué de la manière suivante :

Les pôles sont en A et A' (fig. 30) et les parties neutres en M et M'.

En faisant tourner l'anneau, cette distribution du magnétisme

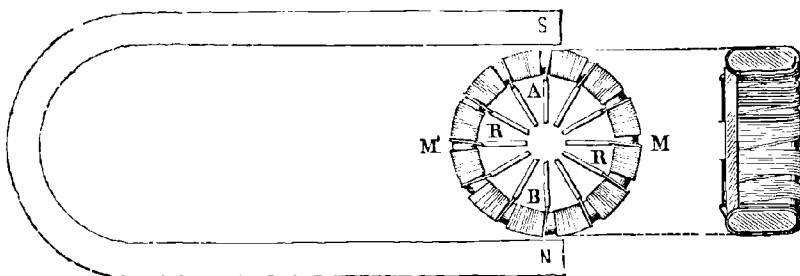


Fig. 30. — Principe de l'anneau de Gramme.

ne change pas, les pôles sont fixes dans l'espace, bien que l'anneau se déplace, la force coercitive du fer doux qui le constitue étant nulle ou négligeable.

Tout se passe donc comme si le fer était immobile et si les spires de fil seules se mouvaient sur un barreau aimanté.

Dans chacune des bobines élémentaires il se développe donc un courant qui, partant d'un des pôles A, reste direct jusqu'à la ligne neutre M, prend le sens inverse de M jusqu'en B, garde ce sens de B à la ligne neutre M', et redevient direct de M' au pôle A. Le courant reste donc de même sens d'un point neutre à l'autre.

Toutes les bobines qui, à un moment donné, sont dans le demi-cercle supérieur, sont toutes à la fois parcourues par des

courants de sens direct qui s'ajoutent *en tension*; les bobines du demi-cercle inférieur sont parcourues par des courants de sens inverse, associés aussi en tension. Il y a donc équilibre, et on peut comparer le système à deux séries de piles égales en nombre et en puissance associées en opposition. En mettant les deux extrémités d'un circuit extérieur en communication avec les pôles opposés communs des deux piles, ces piles sont associées en quantité: de même en établissant des *collecteurs* sur les points neutres de l'anneau, on peut recueillir les courants développés dans l'anneau. Ces collecteurs sont formés de balais de cuivre qui frottent sur une série de pièces rayonnantes R isolées les unes des autres et rattachées chacune au bout sortant d'une bobine et au bout entrant de la voisine. Ces courants sont donc recueillis sur les pièces R comme ils le seraient sur la soudure même d'une bobine à l'autre. Dans la forme pratique, les pièces R sont rapprochées en un cylindre de petit diamètre, mais toujours isolées les unes des autres. Cela ne change rien au principe.

Entre certaines limites, la force électro-motrice augmente proportionnellement à la vitesse; le sens du courant change avec le sens de la rotation. Le courant est continu, car le circuit n'est jamais rompu et les balais commencent à toucher l'un des rayons avant d'avoir abandonné le précédent.

A cause de leur flexibilité et du grand nombre de petits fils de cuivre qui les composent, ils touchent toujours par quelques-unes de leurs parties, sinon par toute leur largeur.

En changeant la grosseur du fil des bobines, on peut leur faire produire à volonté de la tension ou de la quantité; le fil fin augmente la force électromotrice en multipliant le nombre de tours de fil soumis à l'induction, le fil gros diminue la résistance et augmente la quantité aux dépens de la tension. Tension et quantité sont donc les deux éléments d'une circulation électrique comme la pression et le volume débité sont les éléments de la circulation des fluides en hydraulique. L'énergie dépensée dans chaque cas est le produit de deux facteurs, produit qui peut être constant pour des facteurs variables à l'infini.

Machines Gramme à aimants Jamin. — M. Gramme a construit un assez grand nombre de modèles de machines fondées sur le principe de l'anneau et du collecteur. Celle que nous avons prise comme type, pour expliquer la production des courants et la manière de les recueillir, est magnéto-électrique.

La figure 31 représente le modèle de machine magnéto-élec-

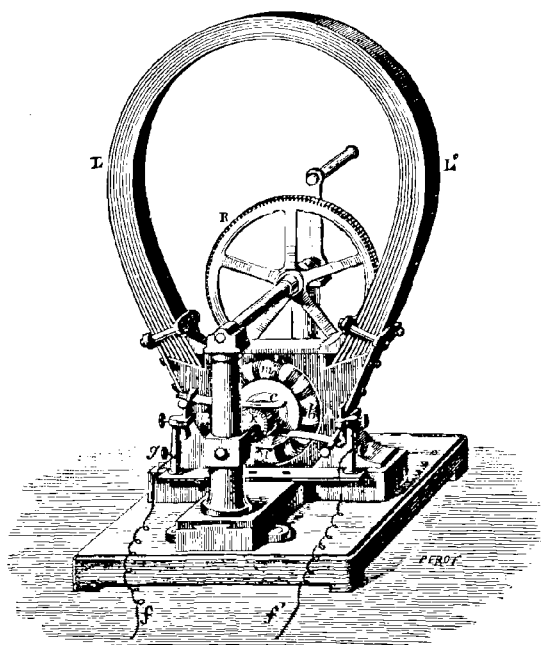


Fig. 31. — Machine Gramme à aimant Jamin. Modèle de laboratoire.

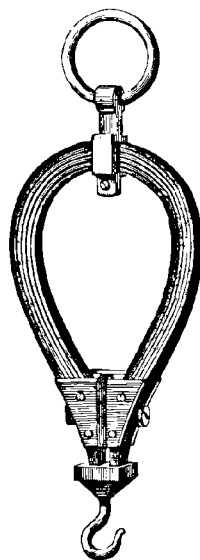


Fig. 32. — Aimant Jamin.

trique à laquelle M. Gramme a fort heureusement appliqué les aimants feuilletés de M. Jamin. Des expériences nombreuses et précises ont prouvé que les aimants feuilletés sont, à poids égal, beaucoup plus puissants que les aimants ordinaires, à la condition de munir leurs extrémités (fig. 31 et 32) de pièces de fer doux qui partagent leur magnétisme avec les extrémités de l'aimant.

Avant l'adjonction des armatures de fer doux, on ne pouvait superposer que cinq ou six lames utilement ; avec les armatures

en fer doux, on peut superposer jusqu'à vingt lames. Ajoutons à la grande puissance des aimants Jamin l'avantage de présenter une grande facilité pour le montage, le démontage et le remplacement des lames.

La machine magnéto-électrique à aimants Jamin est maintenant très employée dans les laboratoires. On la met en mouvement très aisément à la pédale ou à la manivelle ; elle rend de très grands services pour les expériences de courte durée, le chargement des piles secondaires, etc., etc.

Machines dynamo-électriques de Gramme. — Quelle que soit la puissance du champ magnétique développé par un aimant Jamin, elle est loin d'être équivalente à celle d'un électro-aimant, aussi préfère-t-on en général, dans l'industrie, les machines *dynamo* aux machines *magnéto* qui, à poids ou à prix égal, transforment en électricité un travail beaucoup plus considérable.

C'est pour ces raisons que M. Gramme, après avoir construit les machines que nous venons d'examiner, et qui sont toujours restées des appareils peu puissants, appliqua à son anneau le principe découvert par Wheatstone et Siemens.

La première machine dynamo-électrique construite par l'inventeur date de 1872 ; elle fut appliquée à la galvanoplastie dans les ateliers de MM. Christofle et C^{ie}. Elle comprenait quatre barres d'électro-aimants et deux bobines.

La première machine de Gramme étudiée pour la lumière électrique avait six barres d'électro-aimants et trois bobines.

On retrouve dans ces deux premières machines le principe appliqué par Ladd à son générateur électrique. Un des anneaux servait à exciter les inducteurs, les deux autres fournissaient le courant extérieur et pouvaient être groupés, suivant les applications, en tension ou en quantité.

Dans un autre modèle plus petit, il n'y a plus que deux anneaux, dont l'un sert à produire le champ magnétique et l'autre à alimenter le circuit extérieur.

Dans un autre modèle, il n'y a qu'un seul anneau formé de 120 bobines partielles, mais raccordées à deux collecteurs dis-

posés de chaque côté de l'anneau, de façon que toutes les bobines de rang pair, par exemple, correspondent au collecteur de droite, et toutes les bobines de rang impair au collecteur de gauche ; il en résulte que la machine fonctionne comme s'il y avait deux anneaux distincts qu'on peut ensuite grouper en tension ou en quantité suivant les besoins.

Dans cette machine, les inducteurs sont disposés dans le

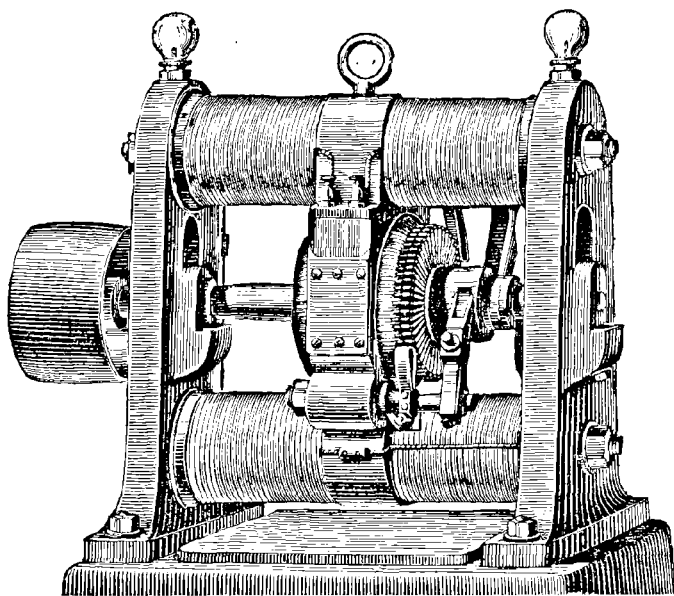


Fig. 33. — Machine Gramme, type d'atelier.

même circuit que les bobines, comme l'indiquaient Wheatstone et Siemens en 1867 ; de simplification en simplification, l'inventeur a été amené à établir, pour l'industrie, un type à deux barres d'électro-aimants et à n'employer qu'un seul anneau central.

La machine ainsi constituée est dite *type d'atelier* ou *type A* ; elle est représentée figure 33. On y retrouve la bobine et les collecteurs de la machine magnéto-électrique ; les inducteurs se composent de deux tiges en fer doux, fixées sur le bâti et portant en leur milieu, où se trouvent les pôles, deux armatures

qui entourent l'anneau sur les trois quarts de sa circonférence pour bien répartir le champ magnétique.

Dans les machines à galvanoplastie, où il faut un courant très intense et peu de tension, la garniture des électro-aimants inducteurs est formée d'une seule bande de cuivre mince, tenant toute la largeur d'une demi-barre d'électro-aimant; la bobine est elle-même formée de fil méplat très épais, assez fort pour s'opposer aux effets de la force centrifuge.

La machine Gramme, sous sa forme actuelle, réalise toutes les conditions qu'un bon générateur électrique doit réaliser; on pourrait seulement lui reprocher les difficultés que présente l'enroulement de l'anneau, difficultés vaincues grâce à l'habileté des constructeurs.

La machine Gramme transforme en électricité, dans certaines conditions de circuit extérieur, 85 à 90 p. 100 du travail dépensé sur l'arbre; ce chiffre dit assez qu'il n'y a plus rien à faire dans le but d'augmenter le rendement des machines.

Les seuls perfectionnements dont elles sont susceptibles résident surtout dans la facilité de construction, de réparation, et leur diminution de poids et de prix.

Nous allons maintenant passer en revue un certain nombre d'autres machines qui, bien que basées pour la plupart sur les principes que nous venons d'exposer, présentent cependant certaines particularités intéressantes à titres très divers.

Machine Lontin. — La machine de M. Lontin, brevetée en 1874, est une machine dynamo-électrique à courant continu dont les inducteurs sont dans le même circuit que l'induit et le circuit extérieur.

Elle se distingue de la machine de Gramme par la forme de l'induit composé de quarante petites bobines **D, D** (fig. 34) dont les axes sont dirigés dans le sens du rayon à la façon des dents d'un engrenage, ce qui a fait donner à cette forme d'induit le nom de *pignon magnétique*.

Les quarante bobines, divisées en dix rangées de quatre bobines chacune, sont disposées en hélice sur chacune de ces ran-

gées et munies d'un noyau de fer à leur intérieur. Elles constituent ainsi une série d'électro-aimants qui, en tournant entre les pôles de l'inducteur A, prennent des polarités dont le sens change à chaque demi-révolution. Les courants ainsi engendrés sont recueillis sur un collecteur de Gramme, par des balais formés de feuilles de cuivre minces comme du clinquant. Le principe et la théorie de cette machine sont identiques à ceux de la

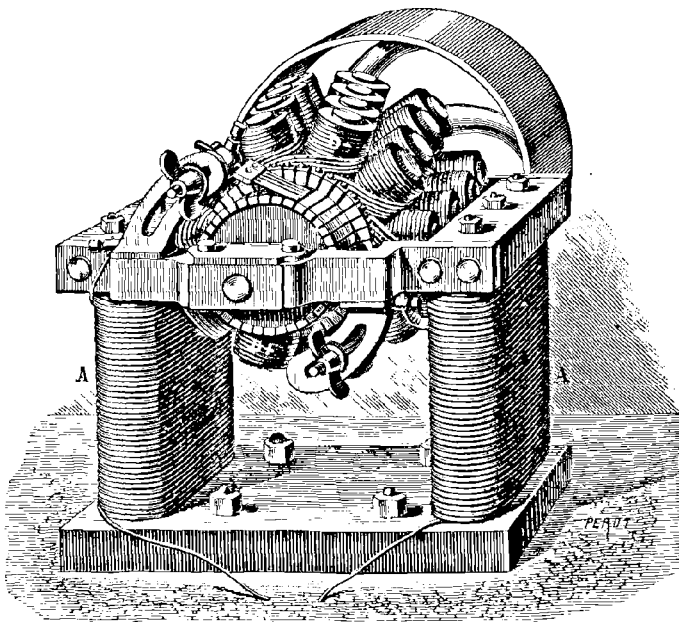


Fig. 34. — Machine Lontin à courant continu.

machine de Gramme dont elle ne diffère que par la forme spéciale de l'induit.

Machine Siemens. — On désigne généralement sous ce nom les machines imaginées par M. Hefner-Alteneck, ingénieur de la maison Siemens, de Berlin. La machine de Siemens (fig. 35 et 36) est une machine Gramme à armature cylindrique qui se distingue cependant du type qui lui a servi de modèle par plusieurs points caractéristiques assez importants.

La bobine induite, formée de sections réunies entre elles et à un collecteur Gramme, est d'une assez grande longueur et roulée d'une façon spéciale ; le fil ne recouvre que la partie *extérieure* de la carcasse en fer qui le supporte. L'induction ne se produit ainsi que par la face extérieure qui se présente aux inducteurs, et le rôle de la carcasse en fer très légère qui remplace l'anneau en fer recuit de Gramme se trouve ici très effacé.

L'enroulement du fil est aussi rendu plus facile, et la bobine

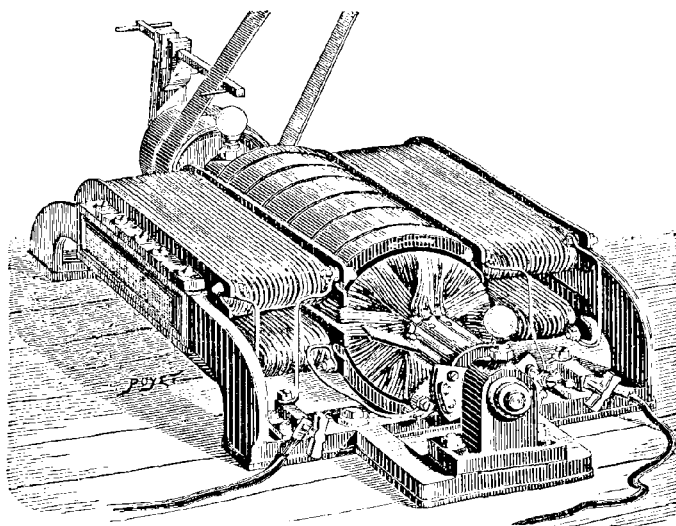


Fig. 35. — Machine à courant continu de Siemens. Moyen modèle, type horizontal.

peut être plus simplement centrée sur son axe de rotation.

Les inducteurs, formés d'une série de lames de fer, sont légèrement arqués à l'endroit de la bobine, ce qui a pour effet de bien répartir le champ magnétique. Le collecteur et les balais sont absolument identiques à ceux de la machine Gramme.

. Sous cette forme, et en variant seulement les dimensions relatives des organes et des fils inducteurs et induits, la machine peut s'appliquer à la galvanoplastie, à l'éclairage électrique par les régulateurs ou par l'incandescence, aux transmissions de force motrice, etc., comme la machine Gramme.

La machine du plus petit modèle (fig. 36), employée plus spécialement pour exciter les inducteurs des machines à courants alternatifs dont nous parlerons plus loin, se distingue par la disposition de ses inducteurs disposés verticalement pour ne pas placer la bobine induite trop près du sol. Les balais qui recueillent le courant sont doubles pour chaque pôle. Cette disposition a pour effet d'avoir toujours une partie métallique du collecteur

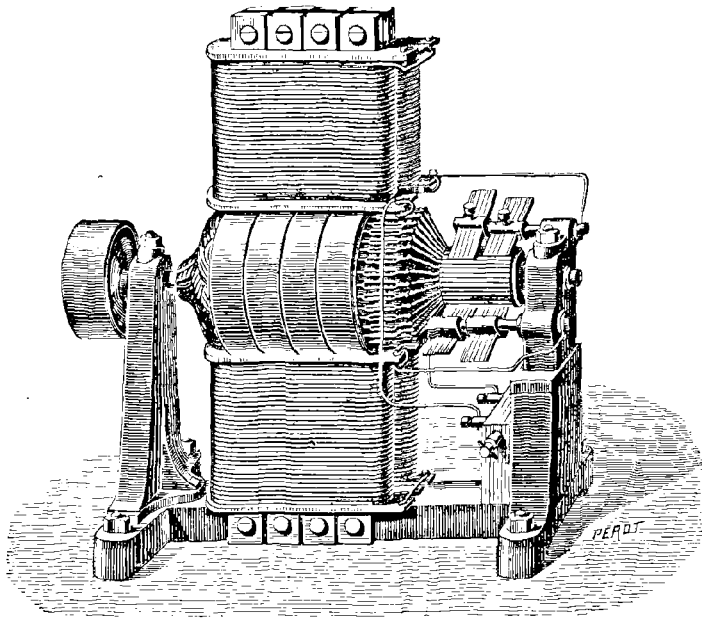


Fig. 36. — Machine à courant continu de Siemens. Petit modèle.

en contact avec un des balais lorsque l'autre balai rencontre une partie isolée, ce qui donne un courant plus régulier.

Malgré la stabilité que présente le type horizontal, M. Siemens paraît y renoncer à cause de l'emplacement que ces machines occupent dans une installation un peu importante. La figure 37 représente le dernier modèle adopté mis en mouvement par un moteur rotatif, système Dolgorouki. C'est celui qui actionne le générateur électrique du chemin de fer de Lichterfelde. L'installation est ainsi réduite à ses dimensions minima.

Machine Bürkin. — En 1877, M. Bürkin, de Bâle, voulant aussi rapprocher la masse de l'anneau des inducteurs, a imaginé

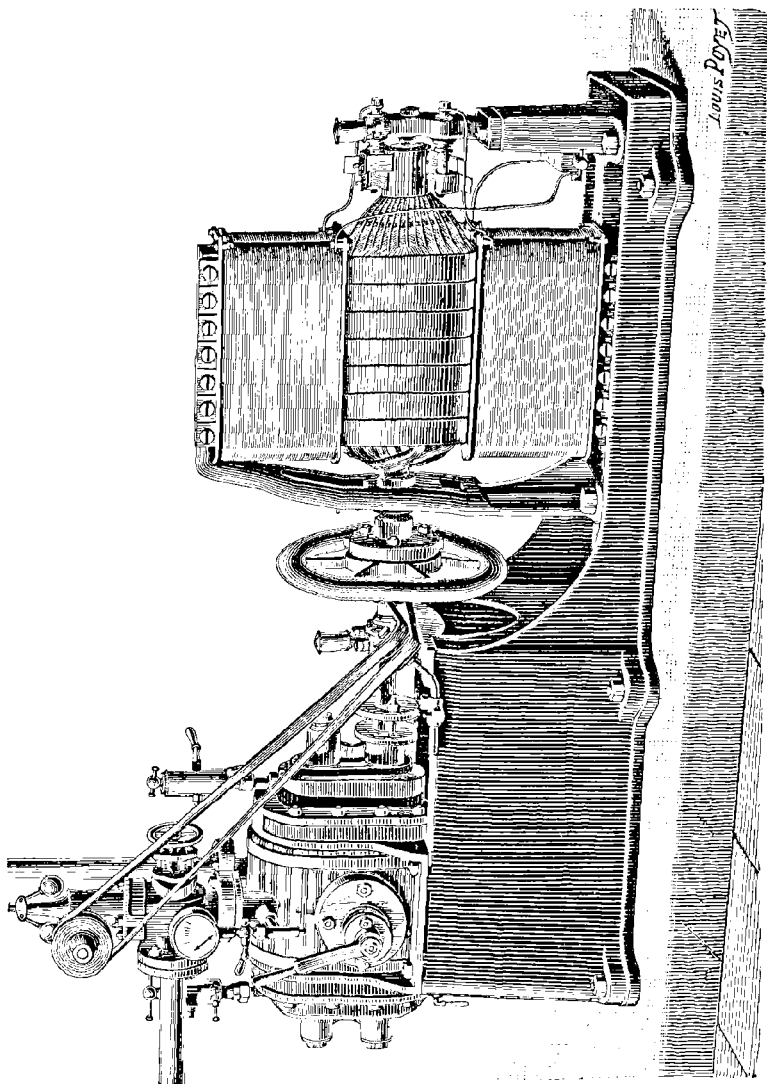
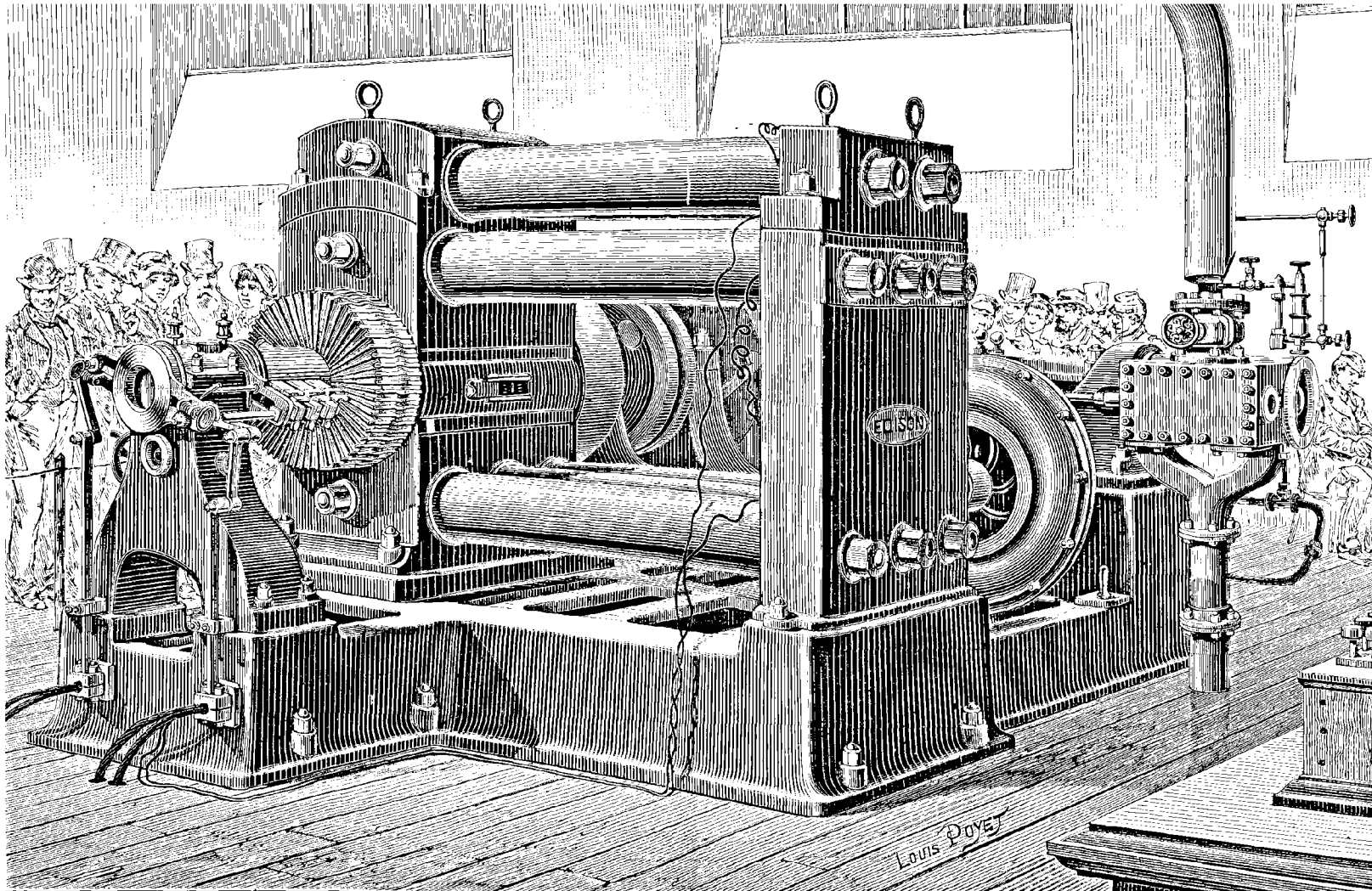


Fig. 37. — Machine dynamo-électrique Siemens, actionnée directement par un moteur rotatif, système Dolgorouki.

une machine dynamo-électrique dans laquelle l'induction se fait sur huit anneaux distincts R (fig. 38) montés les uns à côté des



GRANDE MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE D'EDISON, POUVANT ALIMENTER 1000 LAMPES A INCANDESCENCE.

autres sur le même arbre. Le noyau magnétique de chaque anneau est un cadre hexagonal en fils de fer sur le côté duquel on enroule les hélices induites, en forme de fuseau, plus épais au milieu, de sorte que les angles du cadre se trouvent à peu près sur la même circonférence que les spires extérieures des hélices roulées en fuseau, et passent ainsi très près des pôles inducteurs. Les huit anneaux sont montés un peu *en retrait* l'un par rapport à l'autre pour que les bobines se présentent successivement devant les inducteurs, comme dans le pignon magnétique de M. Lontin (fig. 34). Les 48 bobines sont reliées entre elles et à un collecteur

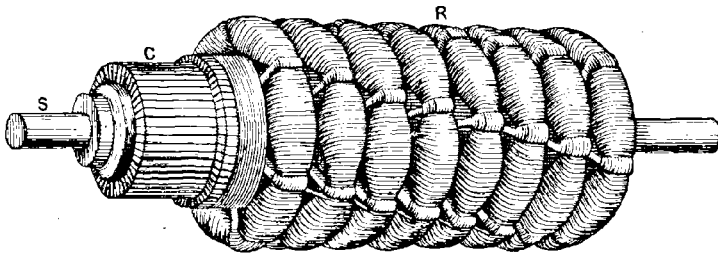


Fig. 38. — Induit de la machine Bürgin.

C comme les bobines de la machine de Gramme, et le fonctionnement en est identique.

Les inducteurs sont en fonte et montés en tension sur le circuit général. Cette machine présente l'avantage d'être assez rustique, facile à construire, et permet de fixer avec précision les anneaux sur l'axe de rotation.

Machine Edison. — Les machines envoyées par Edison à l'Exposition d'électricité, et destinées à alimenter ses lampes électriques, appartiennent à deux types qui ne diffèrent entre eux que par la position des électro-aimants inducteurs et les dimensions. La figure 39 représente une coupe de l'induit, qui diffère par sa construction de tous ceux qui ont été construits jusqu'ici, et la planche II représente une vue d'ensemble de la grande machine de 120 chevaux.

Les inducteurs sont formés de longues barres d'électro-ai-

mants — au nombre de deux dans le type vertical (fig. 40) et de huit dans la grande machine, — ils sont roulés d'un fil relativement fin et établi en *dérivation* (montage Wheatstone), sur les collecteurs. On règle leur puissance, et par suite la force électro-motrice de la machine, en introduisant ou en enlevant des résistances additionnelles dans le circuit d'excitation, à l'aide d'un rhéostat manœuvré *à la main*.

L'induit (fig. 39) est fondé sur le principe de l'enroulement Siemens et du collecteur Gramme. Il se compose d'un noyau en bois B sur lequel est fixée une série de disques de fer D séparés par des rondelles de papier dont le but est de sectionner la masse magnétique, et par suite, de faciliter les aimantations et désaiman-

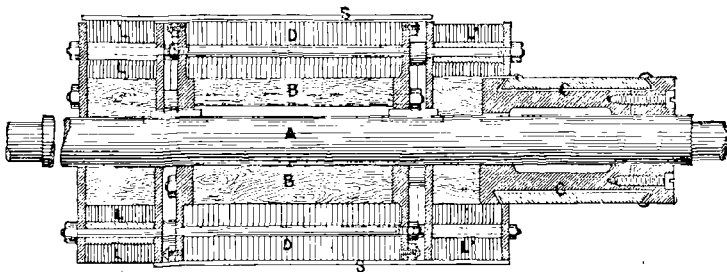


Fig. 39. — Coupe longitudinale de l'induit de la machine Edison.

tations sous l'influence des inducteurs. Sur le tambour ainsi formé se trouve une série de bandes longitudinales de cuivre S isolées par des lames de mica — la grande machine porte 146 de ces barres, — les barres doivent être liées entre elles et au collecteur pour former un circuit complet, fermé sur lui-même, comme dans la machine Siemens. Ces jonctions s'effectuent à l'aide de disques plats de cuivre LL, placés à chaque extrémité du tambour et séparés par des lames minces de mica. Chacun de ces disques porte deux oreilles saillantes presque diamétralement opposées qui viennent s'appliquer chacune aux extrémités des deux barres entre lesquelles on veut faire la liaison. On réunit ainsi les barres entre elles en introduisant le moins possible de résistances nuisibles aux extrémités.

Comme les lames L, L, présentent une certaine épaisseur, et que les jonctions nécessaires des barres s'effectuent par des lames

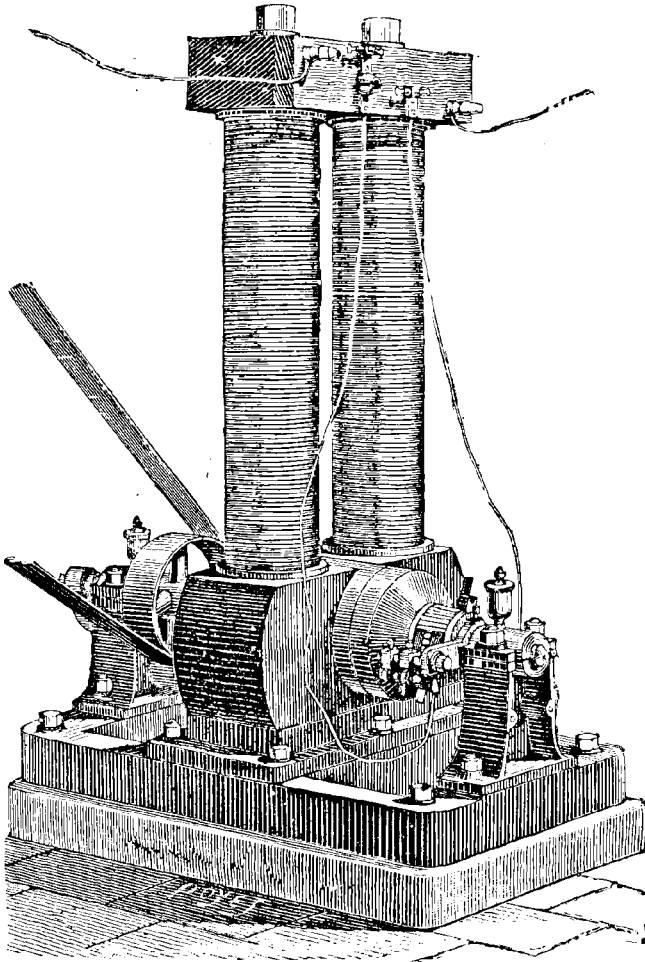


Fig. 40. — Machine Edison, petit modèle.

successives, il en résulte que leurs extrémités se présentent en forme de spirale à chaque bout du tambour. Le collecteur C ne présente aucune disposition importante ou nouvelle.

La grande machine d'Édison est mise en action directement par un moteur à vapeur de 125 chevaux ; la vitesse de l'induit, dont le diamètre est d'environ 1 mètre, est de 360 tours par minute ; sa résistance intérieure est excessivement petite, ce qui permet d'alimenter un grand nombre de lampes à incandescence en dérivation. Le type le plus puissant actuel est construit pour 1200 lampes à incandescence. La figure 40 montre le type vertical le plus petit établi pour 18 lampes seulement.

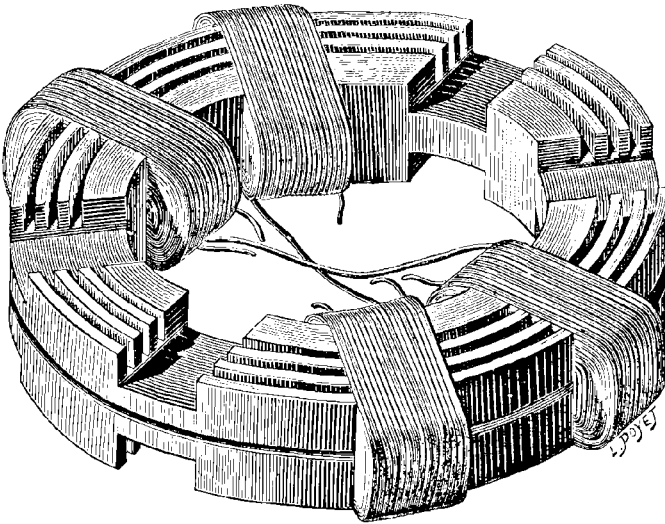


Fig. 41. — Anneau de la machine Brush (quatre bobines sont enlevées pour montrer les dispositions de l'anneau.

Machine Brush. — Le but poursuivi par M. Brush est tout différent. M. Brush s'est préoccupé surtout de produire une machine de grande tension, et non pas de grand volume comme la machine Édison, et il y a réussi, puisqu'on a pu voir, pendant toute la durée de l'Exposition, une seule machine alimenter *quarante* foyers sur un seul circuit, ou envoyer à l'Opéra le courant nécessaire à l'alimentation de *trente-huit* lampes sur un circuit dont le développement dépassait 6 kilomètres.

En principe la machine Brush est un anneau Pacinotti, à huit

ou à douze bobines, tournant entre deux paires d'électro-aimants puissants, alimentés par la machine elle-même. La figure 41 représente l'anneau en fonte, du type de 16 foyers et la figure 42, l'ensemble de la machine du type de 32 foyers, mise en action directe par un moteur à vapeur à trois cylindres, système Brotherhood. Les bobines de l'anneau diamétralement opposées sont reliées deux à deux (fig. 42); les extrémités libres des fils sont fixées à quatre commutateurs très différents, en principe, du collecteur Gramme. L'anneau est sillonné de rainures profondes qui réduisent son poids, augmentent sa surface de refroidissement et entravent, dans une certaine mesure, les courants de Foucault qui tiendraient à se produire dans sa masse, sous l'action du champ magnétique dans lequel il se meut si rapidement.

Si on étudie avec soin ce qui se passe dans chaque paire de bobines prise isolément pendant un tour complet de la machine, on voit qu'elle est traversée par deux courants de signe contraire, et, par suite, qu'au moment du changement de signe du courant, deux fois par tour, la paire de bobines considérée n'est le siège d'aucun courant, c'est-à-dire qu'il ne s'y développe aucune force électromotrice. Si, à ce moment, le courant engendré par la machine traversait la bobine, il le ferait en pure perte, car la paire de bobines intercalée jouerait le rôle d'une résistance inerte, et par suite d'une résistance nuisible.

Le commutateur de M. Brush supprime cette paire de bobines du circuit, au moment où aucun courant ne la traverse, ce qui est une condition très avantageuse.

Machine Hefner-Alteneck. — Cette machine est toute nouvelle et il faudrait, pour l'expliquer complètement, se reporter au générateur à courants alternatifs de Siemens que nous décrirons plus loin. Par une disposition ingénieuse de commutateurs et de collecteurs, M. Hefner-Alteneck est parvenu à transformer la machine à courants alternatifs sans fer en machine à courant continu. Les expériences sont encore trop récentes pour que les avantages de cette transformation aient été mis

nettement en relief, mais le résultat est intéressant, en ce sens qu'il montre la tendance actuelle des inventeurs à créer des ma-

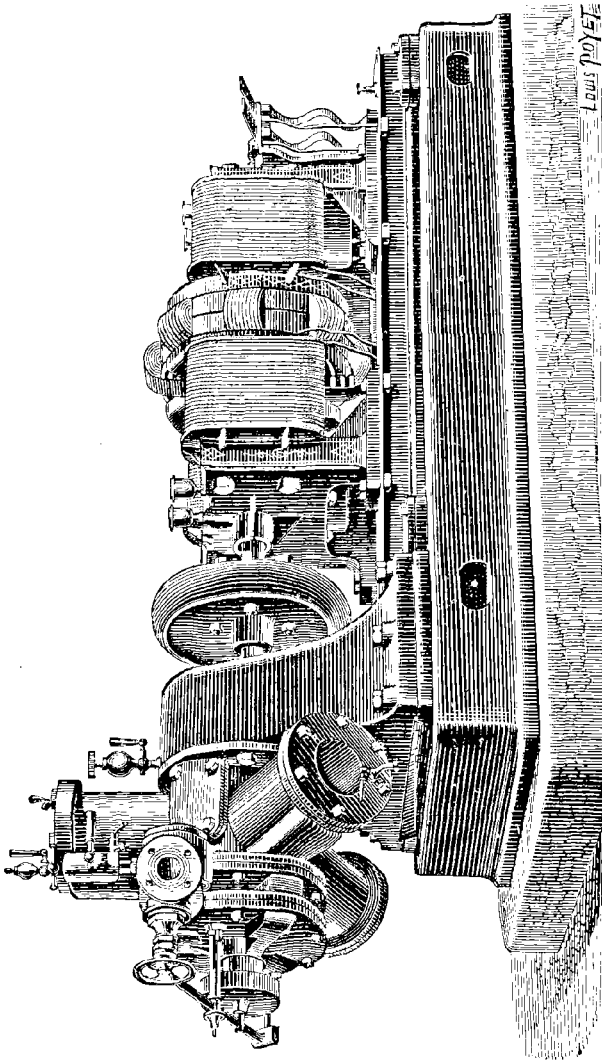


Fig. 42. — Machine Brush, type de 32 lumières, actionné par un moteur Brotherhood (d'après une photographie).

chines à courant continu dont l'usage est plus général que celui des machines à courants alternatifs.

Machines diverses. — Le nombre des machines nouvelles à courant continu s'accroît chaque jour dans des proportions vraiment effrayantes, et l'on a peine à les suivre. Nous nous sommes contenté de signaler celles qui présentent des dispositions intéressantes ou nouvelles.

M. *Mazim*, de New-York, a combiné un générateur à anneau de Gramme et à inducteur genre Siemens, caractérisé surtout par le mode de réglage du courant que nous étudierons à propos des applications de l'éclairage électrique.

M. *Weston* a eu surtout en vue de ventiler l'anneau en le faisant à claire-voie pour permettre une libre circulation de l'air.

M. *Jørgensen*, de Copenhague, voulant utiliser également les deux faces de l'anneau Gramme, a eu l'idée de placer un second inducteur fixe à l'intérieur de l'anneau et de réagir ainsi sur les deux faces du fil. L'expérience seule pourra faire connaître les avantages pratiques de cette disposition plus compliquée.

M. *Gülcher*, dans son système d'éclairage électrique où toutes les lampes à arc voltaïque sont établies en dérivation, a combiné une machine à quatre pôles à gros fils, pour produire beaucoup de quantité. L'anneau genre Gramme est aplati, l'induction se fait par les deux faces, et les deux inducteurs en regard sont reliés par une armature en U qui entoure l'anneau pour l'induire sur trois de ses faces.

Nous arrêterons là cette énumération qui demanderait un volume pour être complète : le nombre des combinaisons possibles est indéfini ; toutes n'ont pas encore été essayées, et nous ne désespérons pas de voir s'étendre la liste déjà trop longue des générateurs mécaniques d'électricité : l'expérience seule permettra de faire un choix et de réduire le nombre des types véritablement industriels.

B. — MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS.

Si nous considérons une spire d'une bobine induite pendant une révolution entière accomplie par l'ensemble mobile, —

inducteur ou induit, — autour de son axe de révolution, nous savons que pour chaque tour, elle est traversée par deux ou un nombre pair de courants alternativement de sens contraire; c'est par un artifice plus ou moins heureux, plus ou moins habile, que l'on recueille ces courants dans le circuit extérieur, de façon à les obtenir toujours dans le même sens et à produire un courant continu. Dans certaines applications, il est absolument inutile de redresser ces courants; pour certaines machines même, comme celles de *l'Alliance*, par exemple, ce redressement des courants ne s'effectuait pas sans de grandes pertes, faciles à éviter en se contentant de recueillir les courants sans redressement.

Les machines qui réalisent ces conditions sont des machines à courants alternatifs, et se divisent en deux classes, comme les machines à courant continu, suivant que les inducteurs sont des aimants permanents (*magnéto-électriques*) ou des électro-aimants (*dynamo-électriques*).

c. Machines magnéto-électriques à courants alternatifs.

Il suffit de supprimer le commutateur redresseur des machines magnéto-électriques de *Pixii*, *Clarke*, *Page*, *Siemens*, et de le remplacer par un simple *collecteur* de courants, pour obtenir des appareils à courants alternatifs dont la puissance dépendra, comme dans les machines à courant continu, de l'intensité du champ magnétique, de la vitesse de rotation des bobines, de leurs dimensions, de leur nombre, etc.

Machines de *l'Alliance*. — C'est en 1849 que *Nollet*, professeur de physique à l'École militaire de Bruxelles, proposa de construire une machine de *Clarke* sur une grande échelle et créa la machine connue aujourd'hui sous le nom de *Machine de l'Alliance*.

Après des déboires sans fin, dont on trouvera les détails dans *l'Exposé des applications de l'électricité*, de M. le comte du Moncel, les machines de *l'Alliance*, étudiées pour fournir des

courants *continus*, furent, sur les conseils de Masson, professeur de physique à l'École centrale, transformées en machines à courants *alternatifs*. Elles donnèrent, par cette simple transformation, des résultats incomparablement meilleurs et furent adoptées, dès 1863, pour l'éclairage électrique des phares de la Hève.

La machine de *l'Alliance* est aujourd'hui bien connue, nous nous contenterons d'en signaler le principe : c'est une machine de Clarke de grandes dimensions dont les dispositions mécaniques sont combinées pour permettre de multiplier les bobines d'induction et les aimants inducteurs aussi commodément et aussi simplement que possible.

Pour cela, les bobines sont disposées sur des disques et tournent entre les pôles d'aimants en fer à cheval distribués tout autour de la circonférence ; chaque disque porte de 8 à 16 bobines. La machine du plus grand modèle construite jusqu'ici porte 6 disques de 16 bobines chacun et 96 aimants inducteurs. Pour chaque tour de la machine, les fils des bobines sont traversés par des courants qui changent de sens chaque fois qu'une bobine passe devant les pôles des inducteurs.

Pour une vitesse de 400 tours par minute, on obtient plus de 100 changements de sens de courant par seconde. Suivant que ces machines doivent fournir de la quantité ou de la tension, — on sait ce qu'il faut entendre par là, — les bobines sont reliées aux collecteurs, soit en dérivation, soit en tension.

Les machines de *l'Alliance* à courants alternatifs sont de bonnes machines, fonctionnant très régulièrement et d'un rendement satisfaisant ; elles ne se vulgarisent pas parce qu'elles exigent un emplacement assez grand relativement à leur puissance, qu'elles sont trop lourdes et que leur prix est trop élevé eu égard au travail qu'elles transforment en électricité. A ce point de vue, on peut les comparer aux machines à vapeur à basse pression, à condenseur et à faible vitesse, d'un bon rendement, mais auxquelles on préfère, en général, les machines à grande vitesse, à haute pression et sans condenseur qui, à puissance

égale, sont moins lourdes, moins chères et moins encombrantes.

Machine de Méritens. — Cette machine, imaginée en 1878, se distingue des machines de l'*Alliance* par la disposition de l'induit. Le type d'atelier (fig. 43) se compose d'un anneau formé

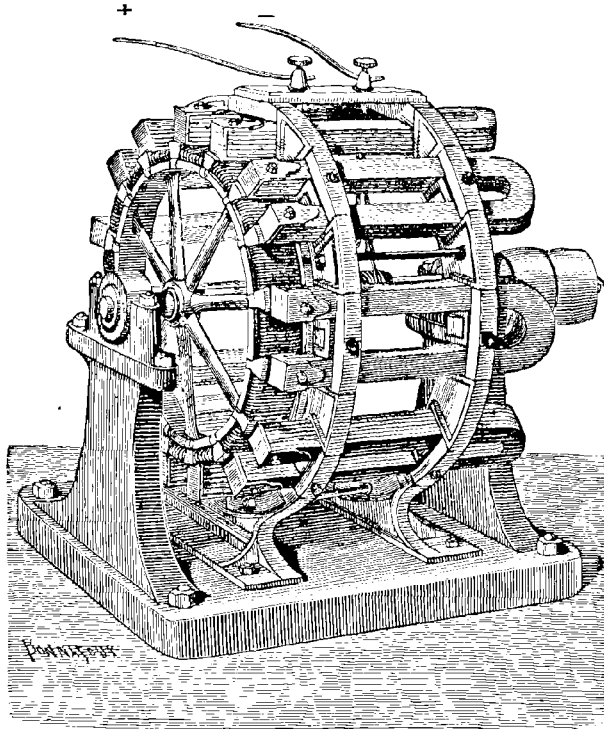


Fig. 43. — Machine de Méritens.

de 16 sections montées sur une roue en bronze fixée sur l'axe. C'est autour de cette roue que sont disposés les inducteurs formés de huit aimants en acier d'Allevard établis suivant les génératrices d'un cylindre horizontal, présentant d'un même côté leurs pôles alternés et également espacés. Chaque section de l'anneau est distincte; elle peut être démontée isolément et bobinée avec la plus grande facilité. Le noyau est formé (fig. 44) par des lames de fer doux juxtaposées découpées à l'emporte-pièce. Le cou-

rant développé change de sens 16 fois par tour, il est recueilli à l'aide de frotteurs et de bagues fixées sur l'arbre. Un plateau permutateur permet, par un simple déplacement de chevilles, de grouper à volonté les 16 bobines, soit 16 en tension, ou 8 en tension et 2 en dérivation, ou 4 en tension et 4 en dérivation, suivant la nature et le nombre des foyers à alimenter.

Pour l'éclairage des phares, M. de Méritens a construit sur le même principe, une machine à cinq disques dont l'aspect extérieur est celui des machines de l'*Alliance*. Les cinq anneaux induits mobiles, qu'on peut grouper en tension,

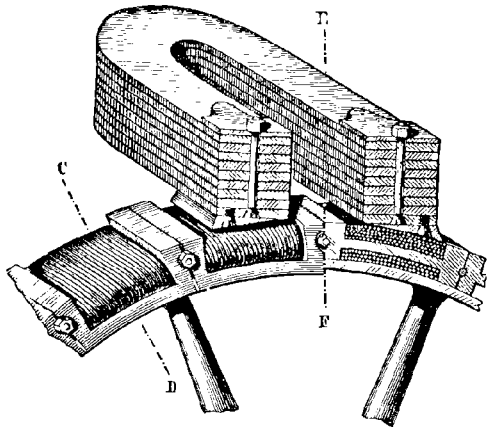


Fig. 4A. — Détail de la machine de Méritens.

en quantité, ou employer séparément, suivant les besoins, tournent devant les *extrémités* des aimants, au lieu de tourner devant les faces, comme dans la machine à un disque.

C'est le seul exemple de machine industrielle magnéto-électrique à courants alternatifs que nous ayons vu figurer à l'Exposition d'électricité. La tendance générale est d'ailleurs de les abandonner.

d. Machines dynamo-électriques à courants alternatifs.

Nous savons que les machines dynamo-électriques se distinguent des machines magnéto-électriques par la nature des inducteurs qui sont des *électro-aimants* pour les premières, tandis que les secondes emploient des aimants permanents.

Dans les machines à *courant continu*, le courant produit par la machine elle-même est utilisé pour l'aimantation des induc-

teurs, condition que ne peuvent réaliser les courants alternatifs (sous réserve de certains artifices dont nous parlerons plus tard).

Il en résulte que, pour constituer une machine dynamo-électrique à courants alternatifs, il est nécessaire d'employer deux machines : la première, qu'on appelle *excitatrice*, *induisante* ou *amorçante* (le nom d'excitatrice tend aujourd'hui à prévaloir), d'un volume relativement petit, sert à exciter les électro-aimants, la seconde, qu'on nomme *distributrice*, *machine à division* ou

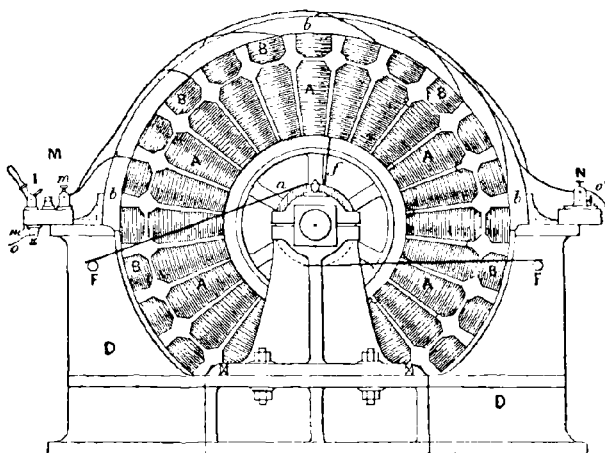


Fig. 45. — Machine à division de M. Lontin.

machine à lumière, et qui fournit des courants alternatifs sur un ou plusieurs circuits.

Les systèmes que nous allons examiner, Lontin, Gramme, Siemens, Gordon, etc., emploient tous deux machines, une excitatrice à courant continu et une machine à division.

Machine à courants alternatifs de M. Lontin. — C'est M. Lontin qui a construit la première machine dynamo-électrique à courants alternatifs avec machine excitatrice spéciale. L'*excitatrice* de M. Lontin est la machine à courant continu que nous avons décrite page 86.

Le courant de l'excitatrice arrive dans le pignon de la machine à division (fig. 45) par deux frotteurs fixés aux bornes F, F. Ce

pignon tournant autour d'un axe horizontal se compose de vingt-quatre dents de fer enveloppées chacune d'une hélice en fils de cuivre traversée par le courant de l'excitatrice qui aimante chacune des dents en alternant les pôles à la circonférence extérieure.

Extérieurement au pignon mobile se trouve une couronne fixe portant aussi vingt-quatre dents fixées à l'intérieur de cette couronne, et formant ainsi une série de bobines dont toutes les extrémités des fils entourant les noyaux aboutissent à un *manipulateur* dont nous examinerons la fonction tout à l'heure.

En imprimant au pignon magnétique un mouvement de rotation rapide, les dents du pignon, en passant devant les bobines B, développent des courants d'induction dont le sens change vingt-quatre fois par tour. La machine à 24 bobines, tournant en marche normale à la vitesse de 360 tours par minute, il se produit 8640 changements de polarité dans le noyau des bobines B, c'est-à-dire 8640 courants alternativement de sens contraire, soit 145 inversions par seconde.

Les extrémités des fils de bobines B arrivent au manipulateur M, et sont fixées à des bornes *m*. Le manipulateur permet de combiner les bobines en les groupant, soit en tension, soit en quantité, et en nombre plus ou moins grand. On peut, à volonté, constituer 24 circuits distincts, ou disposer les 24 bobines, *par séries*, sur un seul circuit, et alimenter un seul foyer puissant.

Dans cette machine l'induit est fixe et l'inducteur mobile, comme dans la machine de Pixii multiple, avec cette différence que l'aimant mobile est remplacé par un électro-aimant qui, à poids égal, a beaucoup plus de puissance qu'un aimant permanent.

Machine de Gramme. — Dans cette machine, comme dans celle de M. Lontin qui l'a précédée, l'induit est fixe, et les inducteurs, surexcités par une machine Gramme type d'atelier (p. 85), sont mobiles. L'inducteur (fig. 46) est constitué par un pignon magnétique formé de 8 électro-aimants droits à pôles alternés qui fournissent dans chacune des sections de l'hélice induite des courants alternativement renversés.

L'induit fixe est un cylindre de fer assez long disposé comme

l'anneau des machines à courant continu du même inventeur.

On voit sur le diagramme (fig. 46) que, les fils de l'induit étant fixes, on peut les associer de différentes façons. Chaque huitième de la circonférence de l'anneau est partagé en quatre sections; les trente-deux sections ou éléments sont réunies en quatre groupes formés de sections prises quatre à quatre; toutes les sections *a* sont réunies en un premier groupe, car il suffit d'examiner la figure pour voir que toutes les sections *a* sont placées de la même façon par rapport aux huit pôles de l'inducteur mobile, ce qui commande leur association; de même les sections *b* sont réunies

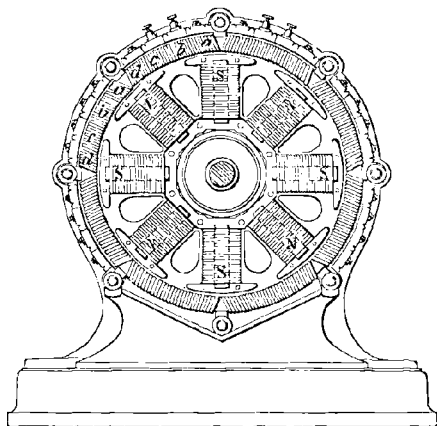


Fig. 46. — Diagramme de la machine Gramme à courants alternatifs.

au deuxième groupe; les sections *c*, au troisième, et les sections *d*, au quatrième. En mettant soixante-quatre sections sur l'anneau, bien d'autres combinaisons sont possibles.

Il n'y a, comme dans la machine à division de M. Lontin, aucun commutateur; deux frotteurs mobiles, en forme de balais ou de brosses, appuient sur deux cercles distincts et amènent le courant de l'excitatrice au pignon mobile.

La machine est enfermée entre deux montants de fonte de fer latéraux et enveloppée par un certain nombre de planches d'acajou (fig. 47) qui protègent efficacement l'anneau extérieur contre tous les chocs.

M. Gramme construit plusieurs modèles de machines de ce type, depuis celles qui alimentent 4 bougies Jablochkoff sur un seul circuit, jusqu'aux machines employées à l'Hippodrome qui fournissent le courant électrique à 60 bougies disposées en douze circuits de 5 bougies chacun.

Machines de Siemens. — La machine de H. Hefner von Alteneck, construite par la maison Siemens, ce qui lui fait donner ce nom, se distingue par ce fait qu'à l'inverse des machines

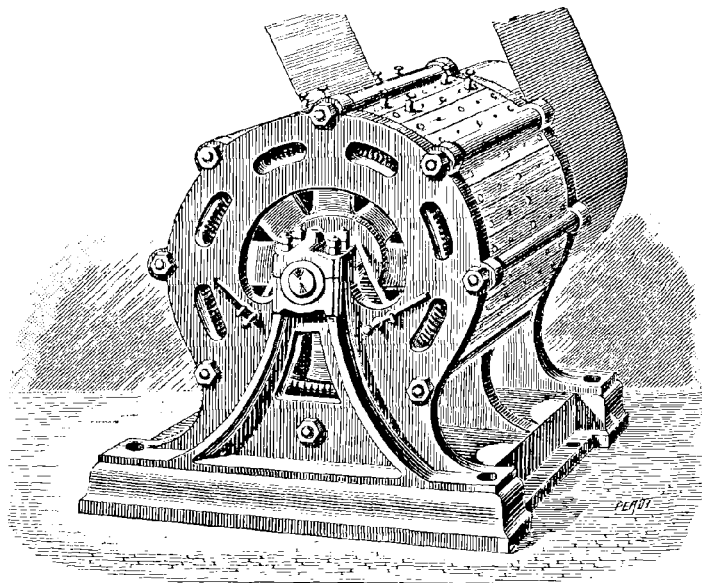


Fig. 47. — Machine Gramme à courants alternatifs.

Lontin et Gramme, les inducteurs sont fixes et les induits mobiles.

La machine excitatrice est la machine Siemens petit modèle, représentée figure 36, page 89. Le courant de cette excitatrice est envoyé dans un inducteur formé de 32 électro-aimants fixes disposés sur deux couronnes en fonte, 16 de chaque côté de l'induit mobile (fig. 48).

L'extrémité du noyau de chacun de ces électro-aimants porte une petite plaque de fer destinée à former un épanouissement du pôle et à élargir le champ ; ces pôles sont alternativement de

sens contraire. Les induits se composent de 16 bobines plates fixées sur un plateau et tournant très rapidement dans l'espace annulaire entre les deux séries d'inducteurs. Ces bobines induites ne renferment pas de noyau de fer, comme les autres systèmes.

Les bobines sont préalablement groupées de la façon qui convient le mieux aux effets qu'on a en vue, et les courants sont recueillis à l'aide de balais qui viennent frotter sur des collecteurs

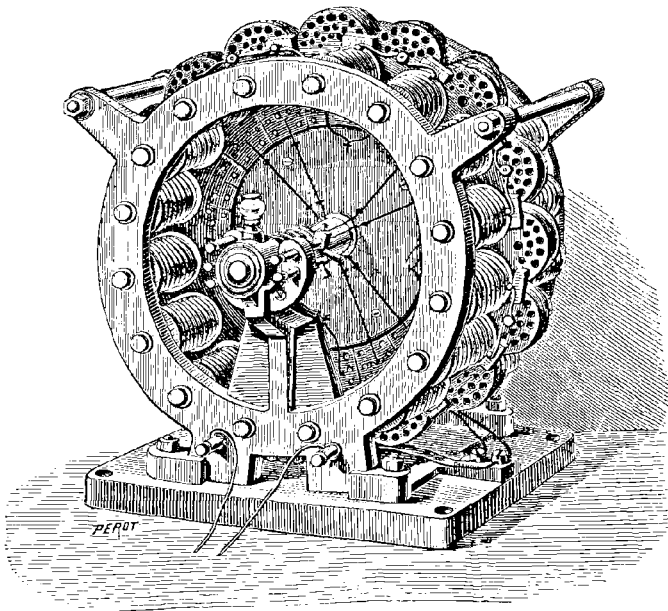


Fig. 48. — Machine à division de Siemens.

reliés aux extrémités des fils des bobines induites. La machine à 16 bobines du type que nous venons de décrire est divisée en deux circuits pouvant alimenter chacun 10 lampes différentielles de Siemens. Il suffit pour cela de trois fils partant de la machine, car l'un d'eux, le *fil de retour*, peut être commun aux deux circuits.

Machine A. Gérard. — Dans cette machine, l'inducteur mobile à pôles alternés tourne devant deux séries de bobines induites de forme oblongue et fixées en deux cercles verticaux. Les

fil partant de chaque bobine viennent se fixer à des bornes un à un sur une planchette de commutation disposée à la partie supérieure de la machine. On peut ainsi, comme dans la machine Lontin, réaliser à volonté tous les couplages nécessaires, suivant

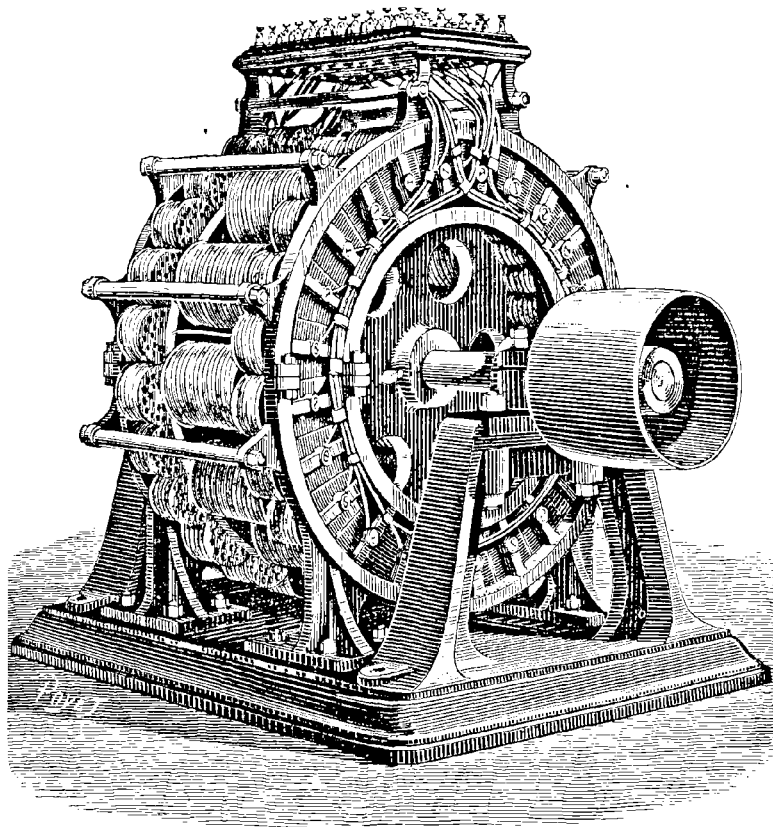


Fig. 49. — Machine à courants alternatifs de M. A. Gérard.

la nature des circuits à alimenter, et assurer ainsi l'indépendance de chacun de ces circuits. Le courant fourni par l'excitation arrive à l'induit mobile par deux frotteurs et deux bagues métalliques isolées fixées sur place, auxquelles sont reliées les extrémités du fil de l'inducteur.

Machine Gordon. — Cette machine a été construite dans le but d'alimenter de 5000 à 7000 lampes à incandescence :

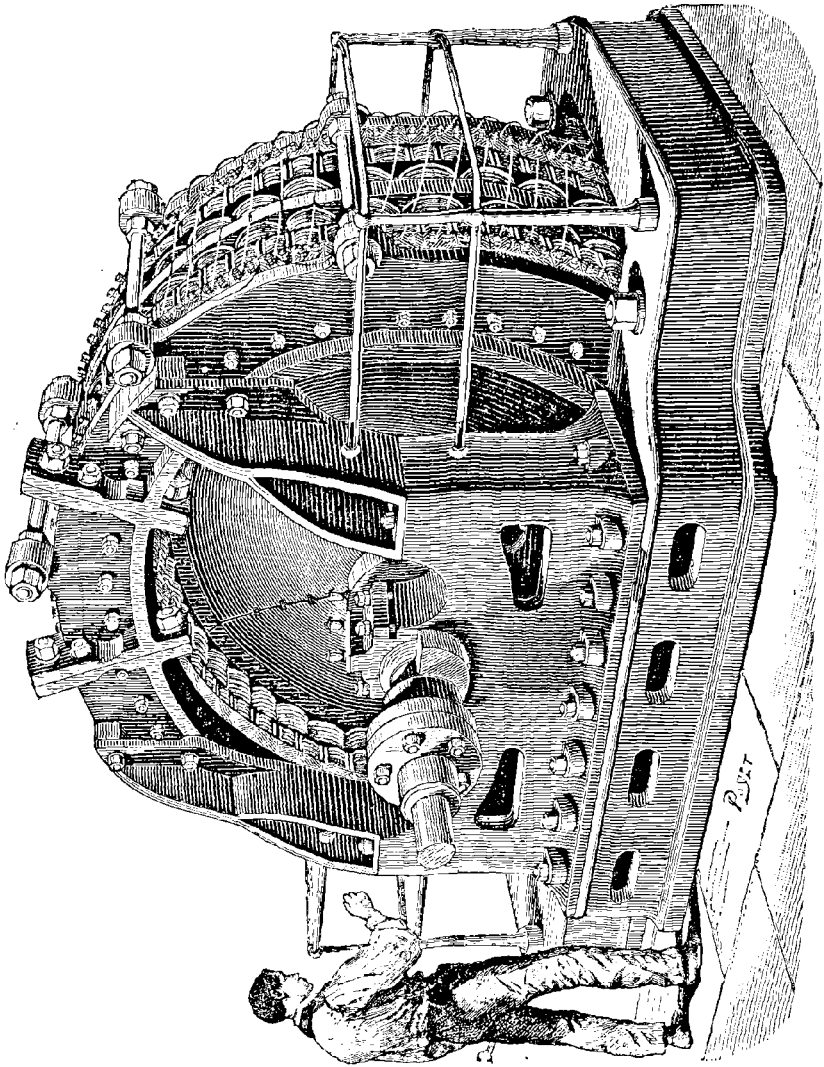


Fig. 50. — Grande machine dynamo-électrique de M. Gordon.

elle est surtout remarquable par sa grande puissance et ses grandes dimensions.

L'inducteur se compose d'une jante en fer de 2^m,30 de diamètre portant sur sa circonférence 32 électro-aimants droits à pôles épanouis en forme de rectangle. L'inducteur pèse 7 tonnes ; les 64 bobines (2 par électro-aimant) qui le composent sont montées en tension et traversées par un courant de 20 ampères fourni par deux machines Bürkin, actionnées par un moteur distinct. Le courant arrive, à ces inducteurs mobiles, à l'aide de deux frotteurs qui appuient sur deux anneaux en bronze phosphoreux, parfaitement isolés du reste de la machine par une monture en bois, garnie intérieurement de vulcanite. Le courant traverse ces inducteurs de manière à développer dans les noyaux des polarités alternativement de sens contraire lorsqu'on passe successivement d'une bobine à l'autre.

L'induit se compose de 128 bobines fixes disposées de chaque côté de l'inducteur sur deux flasques annulaires en fonte, 64 sur chaque flasque. Ces bobines sont munies chacune d'un noyau en fer formé d'une tôle de chaudière pliée en forme de V : le but de cette disposition est de s'opposer aux courants d'induction qui se développeraient dans le noyau de fer s'il était plein.

Les bobines fixes ou induites sont, comme on le voit d'après ce que nous venons de dire, en nombre double des bobines mobiles ou inductrices. Peignons les bobines induites alternativement en bleu et en rouge, et donnons-leur, pour simplifier l'explication, le nom de leur couleur : on voit, par la construction de la machine, que lorsque les noyaux des inducteurs seront en regard des bobines rouges, les bobines bleues se trouveront en regard des intervalles des inducteurs, et réciproquement ; ce sont donc alternativement les bobines rouges et les bobines bleues qui se trouvent directement dans le champ d'action des inducteurs : lorsque le courant développé est maximum dans les bobines rouges, il est nul dans les bobines bleues et réciproquement. On groupe donc les bobines de même couleur sur un même circuit, la machine constitue alors un appareil double alimentant deux séries distinctes de lampes.

M. Gordon a employé à dessein un nombre d'inducteurs moitié

moindre du nombre des induits, pour éviter les réactions nuisibles qui, d'après lui, se produisent lorsque le nombre des inducteurs est égal à celui des induits.

Sur chacun des circuits — circuit rouge et circuit bleu — sont placées environ 700 lampes groupées en 350 dériviatives de 2 lampes en tension, soit 1400 lampes pour les deux circuits.

Les 64 bobines induites qui alimentent chacun des circuits sont groupées en 16 dériviatives de 4 bobines en tension.

Les lampes Swan absorbent en moyenne un dixième de cheval-vapeur et fonctionnent avec un courant moyen de 1,4 ampère et 52 volts de force électromotrice. Leur puissance lumineuse est de 20 candles environ (2 becs Carcel). L'énergie électrique fournie aux lampes dans ces conditions par la machine représente environ 140 chevaux-vapeur.

La machine génératrice tourne à 140 tours par minute et le courant d'excitation ne dépasse pas 20 ampères.

Machine Ferranti-Thomson. — Cette machine due à la collaboration de sir William Thomson, l'éminent électricien anglais, et de MM. S. Ziani de Ferranti et Alfred Thomson, est le dernier mot de la simplicité, de la légèreté et de la puissance, si tant est qu'il puisse jamais y avoir un dernier mot dans le développement de la science électrique et de ses applications.

Les chiffres fournis par des expériences faites récemment en Angleterre sur un premier type vont permettre d'ailleurs d'en juger. La machine essayée a fait fonctionner 320 lampes à incandescence de Swan et fourni une énergie électrique de 26 chevaux-vapeur sous un poids total d'un peu moins de 600 kilogrammes, et une armature mobile — induit — dont le poids est de huit kilogrammes seulement. Il est bon de rappeler ici, pour faciliter les comparaisons, que l'induit de la machine Edison, type de 1200 lampes, — soit une puissance environ quadruple — pèse 2500 kilogrammes, et que l'inducteur mobile de la machine Gordon pèse 7 tonnes pour 5000 lampes. Voici comment ce résultat, paradoxal en apparence, a été obtenu.

La machine (fig. 51) se compose de deux flasques en fonte

sur chacune desquelles sont fixés 16 électro-aimants droits à pôles alternés disposés régulièrement sur une circonférence dont le centre est sur l'axe de rotation de l'induit. Les deux séries d'électro-aimants droits sont disposées de telle manière que les pôles de noms contraires soient en regard ; il reste entre les extrémités libres de ces électro-aimants un espace vide dont l'épaisseur ne

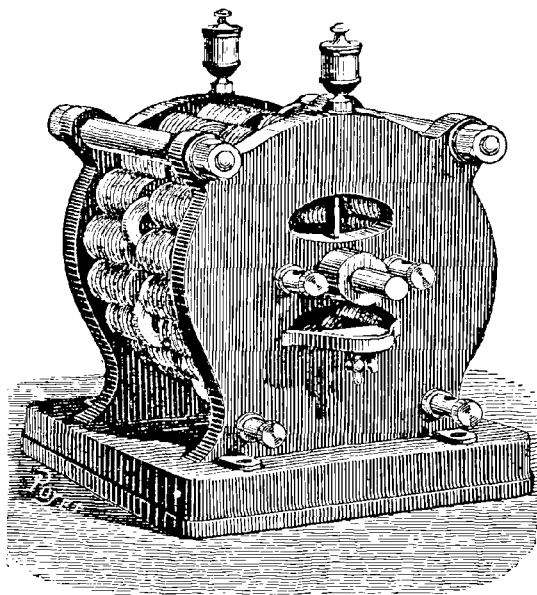


Fig. 51. — Machine dynamo-électrique à courants alternatifs système Ferranti-Thomson.

Cette machine a 60 centimètres de hauteur, 50 de long, 40 de large ; elle tourne à 1900 tours, transforme 25 chevaux en électricité ; l'anneau induit mobile porte 8 kilogrammes de cuivre ; le courant qu'il produit alimente 320 lampes à incandescence Swan, du type de 20 candles.

dépasse pas 18 millimètres. Les 32 électro-aimants forment les inducteurs fixes ; ils sont montés en tension et excités par une machine dynamo-électrique de Siemens à courant continu.

C'est dans l'intervalle de 18 millimètres laissé libre par les deux séries d'inducteurs que se meut l'induit. Cet induit, en forme de plateau, ne comporte aucune pièce de fer ; il se compose, dans sa partie essentielle, d'un ruban en cuivre de 12 millimètres de

largeur contourné en forme de feston ou de zigzag comme le représente la partie sombre de la figure 52 — la partie claire représentant les inducteurs — et formant une sorte de pignon à huit dents. Ce ruban de cuivre a une longueur de 36 mètres et 2 millimètres d'épaisseur ; il suit douze fois le contour représenté figure 52, et ses extrémités viennent s'attacher à deux bagues isolées fixées sur l'axe, contre lesquelles frottent deux balais qui constituent les collecteurs reliés aux bornes de la machine.

La machine tourne à 1900 tours par minute, le diamètre extérieur de l'induit est de 54 centimètres et le diamètre moyen

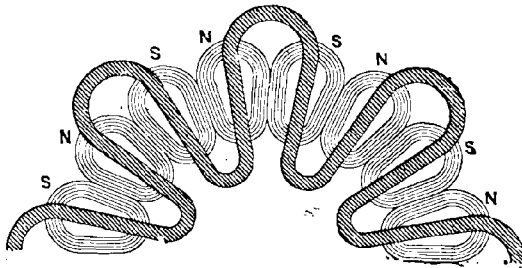


Fig. 52. — Diagramme montrant les dispositions des inducteurs fixes et de l'induit mobile de la machine Ferranti-Thomson.

(La couronne antérieure a été enlevée à dessein pour montrer l'induit.)

de 38. Un calcul très simple montre que la vitesse de translation de la partie moyenne est de 38 mètres par seconde et qu'elle atteint *cinquante-quatre* mètres par seconde (1) à la périphérie. L'anneau plat est étudié et construit pour résister aux effets de la force centrifuge.

La grande puissance de la machine, eu égard au faible poids de l'induit, s'explique par ce fait que les parties actives traversent des champs magnétiques intenses formés entre les inducteurs dans la direction la plus favorable au développement du courant, c'est-à-dire normalement aux lignes de force avec une très grande vitesse, et qu'on n'a pas à compter avec les retards

(1) Dans les machines ordinaires, cette vitesse de translation varie entre 15 et 20 mètres seulement.

et le travail perdu par les aimantations et les désaimantations successives des noyaux de fer, qui sont ici complètement supprimés.

Lorsqu'on étudie le courant produit dans chaque partie rayonnante de l'induit à un instant donné, on voit qu'il est alternativement de sens contraire, mais par le fait même de la disposition en zigzag, les actions s'ajoutent, et l'on recueille aux balais la somme de tous les effets élémentaires. Le courant change de sens 16 fois par tour, soit 500 fois par seconde, 30,000 fois par minute. Les inducteurs sont alimentés par une machine Siemens du type D₆ qui leur fournit un courant de 21,5 ampères et absorbe environ 2 chevaux-vapeur.

La résistance de l'induit est très faible, 0,0265 ohm, le circuit extérieur représente près de 0,8 ohm ; aussi, à cause du rapport élevé entre les résistances extérieure et intérieure, recueille-t-on, en travail disponible dans ce circuit extérieur, la presque totalité du travail transformé en énergie électrique.

Lors des expériences, la machine alimentait 320 lampes Swan — type de 20 candles — disposées en 107 dérivations de 3 lampes en tension et une dérivation de 2 lampes seulement. Ces lampes fonctionnaient avec 1,3 ampère et 41 volts de force électro-motrice, en donnant une lumière d'environ 16 candles. Le courant total fourni était de 156 ampères et la différence de potentiel aux bornes de 125 volts, ce qui représente 26 chevaux-vapeur d'énergie électrique. La machine ne pèse, avec son excitatrice, que 680 kilogrammes, soit 26 kilogrammes par cheval d'énergie électrique disponible, c'est-à-dire un poids assez faible pour qu'on puisse établir la machine à un prix peu élevé, car le cuivre n'entre dans le poids total que pour une fraction restreinte.

e. Machines auto-excitatrices.

Toutes les machines dynamo-électriques à courants alternatifs que nous venons d'examiner jusqu'ici nécessitent, comme nous l'avons vu, l'emploi de deux machines distinctes : l'excitatrice et la machine proprement dite.

On désigne sous le nom d'*auto-excitatrices* toutes les machines dans lesquelles on supprime l'excitatrice, sinon totalement, du moins comme machine distincte et séparée. L'avantage de cette disposition réside dans une simplicité plus grande de la transmission, une certaine simplification dans le mécanisme et une économie de prix d'achat.

Machines de Wilde. — La première machine à courants alternatifs de cette nature a été imaginée par *Wilde* dès 1867 ; délaissée pendant quelques années, elle a été employée pour alimenter les bougies électriques du même inventeur.

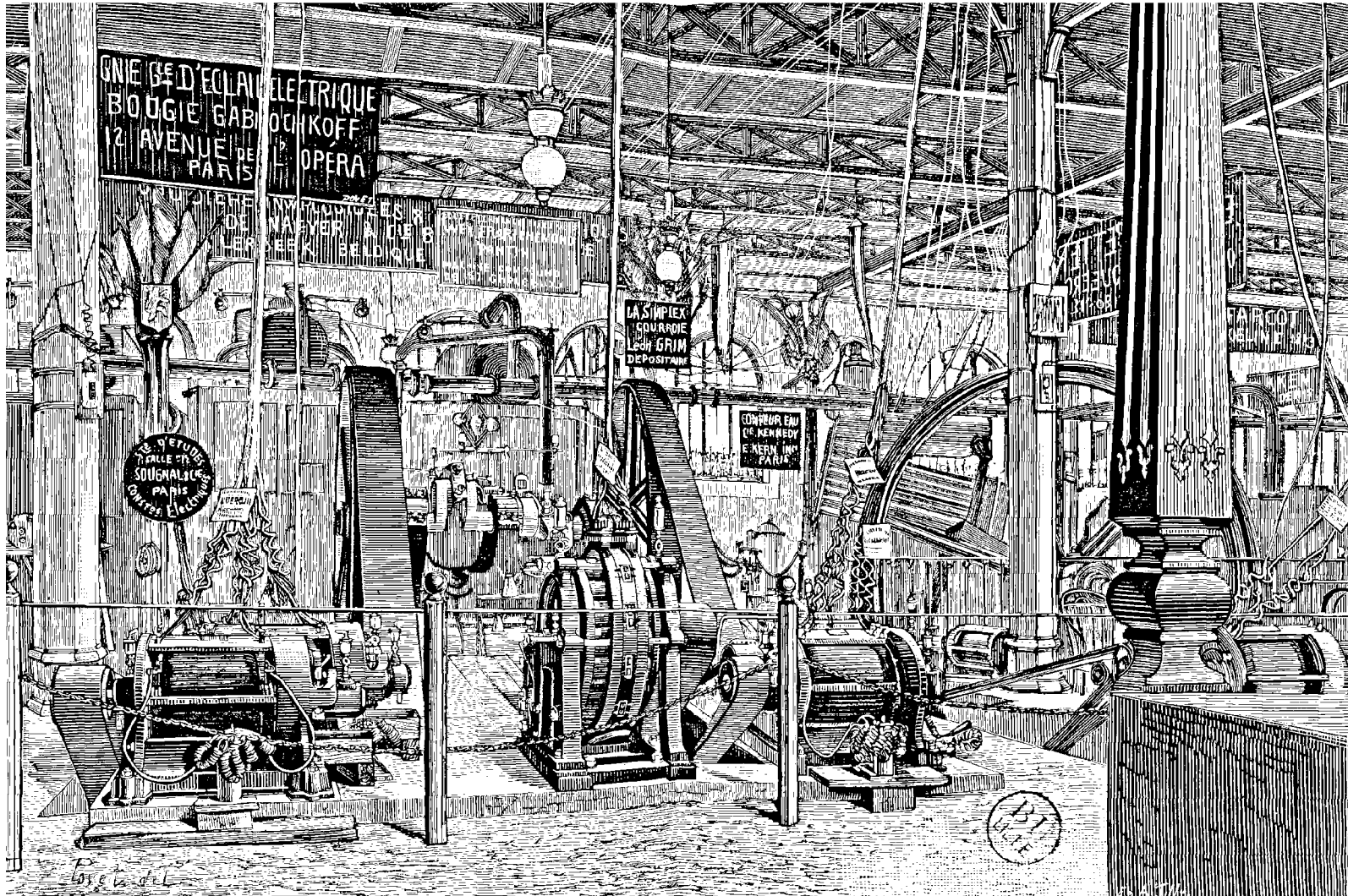
La machine de *Wilde* auto-excitatrice a l'aspect extérieur de la machine *Siemens* à courants alternatifs, moins l'épanouissement des extrémités polaires des inducteurs, et les noyaux de fer qui garnissent les bobines induites dans le système de *Wilde*. Pour exciter les inducteurs, *M. Wilde* emploie le courant fourni par *une partie des bobines induites*, après l'avoir fait passer dans un commutateur redresseur convenablement approprié.

Les autres bobines sont reliées à un collecteur analogue à celui de la machine *Siemens*. La machine *Wilde* est donc auto-excitatrice, en ce sens que les inducteurs sont alimentés sans l'emploi d'une machine séparée.

On a donc à la fois une machine dynamo-électrique à courant direct et une machine dynamo-électrique à courants alternatifs sur le même axe.

Machine de M. Gramme. — En 1879, *M. Gramme* a construit une machine auto-excitatrice un peu différente. Elle se compose en réalité de deux machines distinctes, mais montées sur le même bâti et mises en mouvement par le même axe, et par suite tournant rigoureusement à la même vitesse ; l'une d'elles est une machine *Gramme* dynamo-électrique à courants directs, servant d'excitatrice, l'autre une machine à courants alternatifs analogue à celle que nous avons décrite page 78.

A puissance égale, ces machines coûtent 50 p. 100 moins cher que les types anciens à excitatrice séparée, elles sont aussi moins lourdes, moins encombrantes, et plus faciles à installer ; si elles ne



LES MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ (1881).

constituent pas une invention de grande valeur scientifique, elles ne représentent pas moins un progrès d'une certaine importance au point de vue pratique.

Le téléphone machine magnéto-électrique. — Pour compléter la liste des appareils qui transforment le travail mécanique en électricité, nous devons signaler le plus sensible et le plus délicat de tous, le téléphone électro-magnétique de Graham Bell et ses nombreux dérivés. Tous les téléphones magnétiques sont de véritables générateurs électriques qui, sous l'influence du travail mécanique résultant des vibrations qui constituent le son, engendrent des courants électriques ondulatoires d'intensité proportionnée à ces vibrations. On peut assimiler, à ce point de vue, le téléphone Bell à une machine de Page dont la plaque représenterait le barreau de fer doux mobile sous l'action de la voix humaine qui joue le rôle de moteur. C'est ainsi que les courants les plus puissants et les plus faibles que nous sachions produire ont tous la même origine : le travail mécanique.

L'importance de la production de l'énergie électrique par le travail mécanique a été mise en relief à l'Exposition d'électricité où une force de plus de 1500 chevaux était employée chaque soir à la production du courant électrique. La planche III représente une partie de la galerie des machines en mouvement. Une machine *Compound* actionne des générateurs électriques à courants alternatifs de Gramme et de Lambotte-Lachaussée.

Que de progrès accomplis depuis la première étincelle d'induction obtenue par Nobili en 1832 !

Après avoir passé en revue les différentes méthodes par lesquelles l'intelligence de l'homme engendre et transforme les courants électriques, nous allons examiner quelques-unes des applications intéressantes dans lesquelles il a su dompter cette force mystérieuse et lui faire accomplir des merveilles.

DEUXIÈME PARTIE

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

L'éclairage électrique doit figurer au premier rang des applications de l'électricité tant au point de vue de son avenir que de son ancienneté.

C'est en effet en 1813 que le célèbre physicien anglais *Humphry Davy* produisit l'arc voltaïque pour la première fois, avec une pile de 2000 éléments zinc et cuivre ; mais ce n'est qu'en 1842 que des expériences faites par MM. *Deleuil* et *Archereau* firent pressentir la possibilité de son emploi comme moyen d'éclairage public.

Ajoutons encore qu'à cette époque on ne connaissait que les piles hydro-électriques comme sources d'électricité. Les machines électro-dynamiques étaient encore dans l'enfance, et les moyens de régulariser la lumière plus que primitifs.

En 1857, les machines de l'*Alliance*, perfectionnées par Van Malderen, montrèrent que la lumière électrique pouvait être produite avantageusement dans certains cas spéciaux, et leur application à l'éclairage des phares de la Hève, dès l'année 1863, fit entrer la lumière électrique pour la première fois dans la pratique courante.

L'invention de la machine de Gramme en 1870 donna un nouvel essor à l'éclairage électrique qui n'avait reçu jusqu'à cette époque qu'un nombre restreint d'applications, et enfin la découverte de M. Jablochkoff, en 1876, acheva de mettre à

l'ordre du jour un éclairage nouveau destiné, non pas à détrôner le gaz, comme l'affirment certaines personnes intéressées et exclusives, mais à le remplacer dans un grand nombre d'applications où la lumière électrique présente des qualités de nature à en dicter l'emploi, de préférence à tous les autres éclairages artificiels. Enfin l'incandescence a permis à la lumière électrique de pénétrer partout où le gaz régnait en maître, et de se substituer à lui avec avantage et souvent avec économie.

Modes de production de la lumière électrique. — Tout éclairage électrique comprend deux parties parfaitement distinctes :

- 1° Le générateur électrique ;
- 2° La lampe électrique.

Après avoir étudié les différents procédés employés à la production de la lumière, il nous sera plus facile d'apprécier la valeur des différentes sources d'électricité par rapport aux appareils qu'elles doivent alimenter ; tous les générateurs électriques actuellement en usage ont d'ailleurs été décrits dans la première partie de cet ouvrage à laquelle nous renverrons le lecteur chaque fois qu'il sera question de l'un d'eux.

Le principe qui préside à la production de la lumière dans un éclairage *quelconque*, huile, pétrole, gaz ou électricité, est le suivant : Porter un corps solide, liquide ou gazeux à une haute température, la quantité de lumière produite étant d'autant plus grande que la température du corps est plus élevée.

Dans tous les éclairages, l'élévation de température est produite par la combustion de l'huile, du pétrole ou du gaz qui alimente le foyer lumineux. Dans la lumière électrique, la haute température du point lumineux est produite par le courant traversant une résistance électrique et se transformant en chaleur *dans un espace très restreint, en échauffant un nombre relativement très faible de molécules*. Lorsque le courant électrique chauffe un conducteur gazeux, la lumière ainsi produite se nomme *arc voltaïque*. Ce conducteur gazeux, porté à une très haute température, la communique aux électrodes qui prennent alors

un éclat éblouissant caractéristique. On emploie dans ce but des conducteurs en charbon de cornue ou en charbon aggloméré, comme nous le verrons plus tard. La combustion de ce charbon, en ajoutant la chaleur qu'elle produit à celle du courant, favorise la production et le maintien de cette haute température et contribue, dans une certaine mesure, à l'éclat de la lumière.

Lorsqu'on emploie un conducteur solide, de faible conductibilité, le courant l'échauffe, le rend lumineux, et la lumière ainsi produite est de la lumière *par incandescence*.

De là résultent deux grandes divisions dans la production de la lumière électrique suivant qu'on emploie l'un ou l'autre des procédés que nous allons examiner successivement.

ARC VOLTAIQUE.

Quelle que soit la tension de la source électrique employée, elle est toujours insuffisante pour faire jaillir la lumière entre les deux électrodes si elles n'ont pas été préalablement amenées au contact. A ce moment, le gaz qui entoure les électrodes est échauffé par le courant, il devient plus conducteur, et on peut alors les écarter un peu, tout en maintenant le passage du courant à travers le conducteur gazeux.

Avec les courants de très haute tension, comme ceux fournis par les machines de Holtz et les bobines d'induction, la décharge peut se produire entre les électrodes séparées par un certain intervalle et produire de la *lumière électrique* dans le sens absolu du mot, mais non pas un *éclairage*.

Dans un intéressant *Aperçu historique sur la lumière produite par l'électricité*, publié par le journal *la Nature* en avril 1878, M. Antoine Breguet fait remonter à *Otto de Guericke* (1602-1688), bourgmestre de Magdebourg, la première *lueur* produite par l'électricité.

Dans un mémoire lu à la Société Royale de Londres, le 6 février 1746, le docteur Watson fit remarquer que les étincelles

électriques paraissaient de couleurs différentes selon la nature des substances d'où elles jaillissent, que le feu paraissait beaucoup plus rouge sortant des corps bruts, comme le fer rouillé, le cuivre oxydé, etc., que des corps à surface nette.

Ce fut Watson qui produisit en réalité, le premier, un véritable *éclairage* à l'électricité, puisqu'avec quatre de ses appareils il donnait naissance à des jets de flamme si grands et si rapprochés que, dans une chambre obscure, on apercevait distinctement les visages des assistants.

Toutes ces expériences étaient faites avec l'électricité dite *statique* fournie par les machines à frottement. Il faut arriver jusqu'à la découverte de la pile faite par Volta pour obtenir la réalisation d'une lumière électrique puissante, de l'*arc voltaïque* proprement dit.

Sir Humphry Davy se servit d'une pile de 2000 éléments d'une surface active de plus de 80 mètres carrés et obtint alors, entre deux tiges de charbon en communication avec les pôles, une lumière éblouissante et continue qui jaillissait sans bruit sensible.

En 1830, *Masson*, professeur de physique à l'École centrale, fit de nombreuses expériences sur l'arc voltaïque et montra que l'électricité ne produit pas de courant dans le vide absolu, ce qui impose la présence d'une matière pondérable. Il établit que l'étincelle électrique est produite par un courant qui se propage à travers la matière pondérable et l'échauffe de la même manière, et suivant les mêmes lois qu'un courant voltaïque échauffe et rend lumineux un fil métallique.

Matteucci, vers la même époque, étudia la conductibilité de l'arc jaillissant entre des pointes de substance variée, et trouva qu'elle dépend moins de la conductibilité des métaux formant les pointes, que de la facilité que ces mêmes métaux ont à se fondre et à se volatiliser.

Il remarqua aussi la différence de température des deux pôles, différence d'autant plus grande que ces pôles sont constitués par une matière moins conductrice ou plus facile à se désagréger et à brûler par la chaleur. La grande différence que l'on observe

entre deux pointes de charbon est due surtout à la combustion, qui, par l'échauffement très inégal des deux pôles, se produit inégalement, et dans un rapport de 2 à 1 environ, le pôle positif étant le plus chaud; cet échauffement inégal est d'ailleurs accompagné par une différence dans la désagrégation moléculaire de leur substance qui peut, à son tour, modifier la résistance électrique et la chaleur développée.

La longueur de l'arc varie avec la nature du courant; elle peut atteindre 4 à 5 centimètres avec des courants appropriés, sa forme dépend aussi de sa longueur. Lorsque l'arc est court, il ressemble à une gerbe condensée de filets lumineux affectant une forme générale cylindrique.

Une atmosphère plus rare et de couleur violette entoure comme d'une gaine la première gerbe, et la base de ce cylindre annulaire s'élargit sur le charbon positif, tandis que sa partie opposée s'éteint en arrivant au pôle négatif.

Si nous allongeons l'arc voltaïque, la gerbe devient moins condensée et plus grêle, et la gaine violette qui l'enveloppe présente davantage l'aspect d'une flamme. La partie centrale se compose

de particules incandescentes qui se détachent des extrémités fondues des pointes, paraissent s'attirer entre elles et former une chaîne continue entre les pointes. La partie extérieure de l'arc est le produit de la matière encore plus divisée.

Dans l'air, l'arc voltaïque se produit et consume rapidement les charbons, mais inégalement, dans le rapport de 1 à 2 environ. Il résulte de cette combustion inégale que le point lumineux se déplace et que les électrodes se déforment; le pôle positif se creuse en forme de cratère (fig. 53) et entoure le point lumineux d'une sorte de rebord plus ou moins saillant.

Ces phénomènes se produisent avec les courants *continus*.

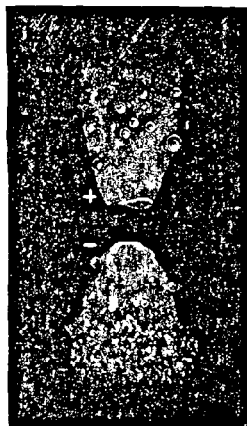


Fig. 53. — Arc voltaïque.

Avec les courants *alternatifs*, l'usure des charbons est égale et régulière ; les deux extrémités sont en forme de pointe, ce qui dégage plus complètement le point lumineux.

Il ne faudrait cependant pas considérer la forme en cratère du point lumineux comme un inconvénient, car l'électrode creusée agit dans ce cas comme un réflecteur, et lorsque la lampe est assez élevée, le sol reçoit une quantité de lumière plus grande que le plafond, ce qui, dans bien des cas, constitue un avantage assez important.

Pour l'éclairage des phares mêmes, la concavité déterminée sur l'électrode positive peut fournir, en plaçant convenablement le charbon négatif, une lumière qui augmente dans un rapport assez considérable l'intensité de la lumière émise *dans une direction donnée*.

La lumière ainsi produite est dite *lumière condensée* ; on l'obtient en disposant le charbon inférieur, qui est négatif, de manière que son axe soit dans le prolongement du côté du charbon supérieur faisant face à l'horizon qu'on veut éclairer. Par cette disposition, si la lumière produite par les charbons placés dans le prolongement l'un de l'autre est 100, on obtient dans différentes directions les intensités suivantes :

Devant.....	287
Sur chaque côté.....	116
Derrière.....	38

On aura donc intérêt, suivant les applications, à produire de la lumière condensée ou de la lumière ordinaire.

Pour produire de la lumière électrique par l'arc voltaïque, il faut donc trois choses distinctes :

1° Produire le courant électrique. Nous avons examiné dans la première partie tout ce qui se rattache à cette question.

2° Faire passer ce courant entre deux charbons. Nous allons voir, en examinant les charbons à lumière, que trouver un bon charbon n'est pas toujours chose facile et que, de ce côté encore, il y a beaucoup de recherches à faire.

3° Maintenir un écartement convenable entre ces deux charbons. C'est le rôle des régulateurs à arc voltaïque dont nous examinerons les principes et les formes les plus employées.

Charbons à lumière. — Sir *Humphry Davy*, qui, le premier, fit jaillir l'arc voltaïque, se servait de charbon de bois éteint dans l'eau ou le mercure, mais la combustion était extrêmement rapide et ce charbon n'aurait jamais permis des éclairages électriques de longue durée. Un grand progrès fut fait lorsque *Foucault* eut l'idée d'employer le charbon des cornues à gaz en y taillant des baguettes carrées. Ce charbon manque d'homogénéité et renferme de la silice qui fond, se vaporise et fait éclater le charbon au détriment de la fixité de la lumière.

En 1842, *Bunsen* cherchait à se procurer des cylindres creux de charbon moulé pour ses piles à acide azotique. Il imagina dans ce but de mouler de la houille sèche pulvérisée en l'agglomérant par une colle, puis de la cuire. Il obtenait ainsi un cylindre de charbon fendillé et peu solide.

Pour souder ce cylindre, il imagina de le tremper dans un sirop de sucre qui remplissait les crevasses et de le recuire de nouveau ; le sucre ainsi distillé bouchait les pores et laissait un charbon bien pur et compact. S'il restait des trous pendant la cuisson, on recommençait l'opération, et ainsi de suite autant de fois qu'il était nécessaire pour avoir un charbon sans défauts.

En 1846, *Staite* et *Edwards* prirent un brevet pour un procédé de fabrication analogue, mais en spécifiant l'emploi de ces charbons pour la production de l'arc voltaïque.

En 1849, *Le Molt* brevetait une composition formée de 2 parties de charbon de cornue, 2 parties de charbon de bois et 1 partie de goudron liquide, le tout bien trituré, malaxé, comprimé, moulé, trempé dans un sirop de sucre, cuit pendant vingt ou trente heures et purifié par des immersions dans des acides.

En 1852, *Watson* et *Slater* préparaient un charbon provenant de *brindilles* purifiées à la chaux, recuites, trempées dans une solution d'alun, recuites de nouveau, trempées dans une solution de mélasse et recuites une troisième fois.

En 1857, *Lacassagne* et *Thiers* taillaient des baguettes dans un bain de potasse ou de soude caustique fondue par la voie ignée pour transformer la silice en silicate soluble. En lavant ensuite les baguettes à l'eau bouillante et en les soumettant à la température rouge, à un courant de chlore, on transformait des terres non attaquées par la potasse ou la soude en chlorures volatils de silicium, de potassium, de fer, etc. La lumière obtenue avec ces charbons était un peu plus régulière, mais ils produisaient beaucoup de cendres et de flammèches.

M. Jacquelain, en employant des produits très purs et en formant ses charbons avec le goudron provenant déjà d'une première distillation, a obtenu des plaques qui, débitées en baguettes, ont donné une lumière tranquille, blanche et 25 p. 100 plus intense, à courant égal, que celle des charbons ordinaires.

En 1877, *M. Archereau* a fait d'excellents charbons composés de carbone aggloméré et comprimé, mêlé à de la magnésie.

M. Carré fabrique aujourd'hui, sur une grande échelle, des charbons à lumière dans lesquels il incorpore des sels métalliques qui donnent, suivant leur nature, plus de fixité ou une plus belle coloration. La fabrication est devenue meilleure et plus rapide par l'emploi de la filière, indiqué par Archereau dès 1855.

On agglomère un mélange de poudre de charbon bien pur, coke et noir de fumée, à l'aide d'un sirop de sucre gommeux ; on le triture et on le passe à la filière sous une pression de 100 atmosphères environ ; les baguettes ainsi obtenues sont cuites, puis trempées rouges dans le sirop, recuites de nouveau et ainsi de suite un certain nombre de fois. Le charbon ainsi préparé est bon conducteur électrique ; il brûle assez lentement, sans craquement et sans trop de flammèches.

Le charbon employé par *Gauduin* dans la fabrication de ses charbons, en 1877, provenait de la décomposition en vase clos des brais secs, gras ou liquides, des goudrons, résines, bitumes, etc., susceptibles de laisser du carbone suffisamment, pur après leur décomposition par la chaleur. Le moulage se

fait à une très haute pression obtenue par l'emploi de la presse hydraulique.

Aujourd'hui la fabrication de charbons de M. Carré est la plus renommée; il fournit des baguettes très lisses et très droites de toutes dimensions depuis 1 jusqu'à 20 millimètres de diamètre. On n'emploie presque exclusivement que des charbons cylindriques dont les dimensions varient avec la nature des éclairages à produire et celle des courants qui alimentent les arcs.

Les lampes à incandescence de M. Reynier usent des baguettes de 2 à 3 millimètres; les lampes Werdermann, les bougies Jamin et Jablochhoff emploient des charbons de 4 à 5 millimètres.

Les régulateurs alimentés par les machines Gramme type d'atelier et autres machines de puissance semblable se servent de charbons de 7 à 10 millimètres; les puissants régulateurs des phares et de la marine emploient des charbons dont le diamètre atteint quelquefois 20 millimètres. Enfin le régulateur monstre de M. Brush a fonctionné à l'Exposition universelle d'électricité avec des charbons de *cinquante* millimètres de diamètre, mais c'était plutôt une curiosité scientifique qu'un appareil industriel.

Classification des foyers électriques à arc voltaïque.

— Il importe, en présence du grand nombre d'appareils qui sont aujourd'hui employés pour transformer l'énergie électrique en lumière, d'établir une classification rationnelle et méthodique qui permette de les ramener tous à un petit nombre de types nettement définis et caractérisés.

On peut d'abord les grouper en deux grandes classes :

1° Les *régulateurs*, dans lesquels un mécanisme plus ou moins compliqué approche les charbons pour produire l'allumage, les écarte ensuite et les maintient à la distance convenable. En général, ces charbons sont constitués par des crayons placés *bout à bout*.

2° Les *bougies*, dans lesquelles les crayons de charbon sont placés *parallèlement*, côte à côte, caractérisées par l'absence complète de mécanisme ou un mécanisme rudimentaire destiné, non pas à *régler* l'écartement, mais seulement à *produire l'allumage* et le réallumage automatiques du foyer.

CHAPITRE I

LES RÉGULATEURS

Régulateurs à main. — Jusqu'en 1844, la lumière produite par l'arc voltaïque ne reçut aucune application pratique; elle constituait jusqu'à ce moment une intéressante expérience répétée dans les cours de physique et pas autre chose, car on ne disposait ni de piles puissantes ni de charbons appropriés. En 1844, *Léon Foucault* employa la pile Bunsen, qui venait de naître, et remplaça les baguettes de charbon de bois, employées depuis *Davy*, par des baguettes prises dans le charbon de cornues à gaz. Il construisit une lampe très simple, manœuvrée à la main et put obtenir des épreuves photographiques, en même temps que *M. Deleuil* faisait des expériences publiques, par le même procédé, sur la place de la Concorde, à Paris.

Il va sans dire que le procédé de réglage à la main est aussi barbare que primitif, et il est aujourd'hui presque complètement abandonné, sauf cependant pour les projecteurs de la marine.

Régulateurs à électrodes circulaires. — Il est à remarquer que les premiers appareils réellement *automatiques* étaient à *charbons circulaires*; comme aujourd'hui on ne les emploie plus, nous ne faisons que les signaler.

Classification des régulateurs. — Tous les régulateurs utilisent les variations produites dans le courant pour réagir sur un mécanisme qui approche ou qui éloigne les charbons.

Certains régulateurs ne permettent de placer qu'un seul foyer sur une source électrique donnée, pile ou machine, ce sont les régulateurs *monophotes*. D'autres permettent d'en placer 2, 4, et jusqu'à *quarante* sur une seule et même source, ce sont les régulateurs *polyphotes* ou régulateurs à *division*. Nous examinerons successivement ces deux classes.

RÉGULATEURS MONOPHOTES.

Les régulateurs monophotes présentent tous ce caractère commun que le système électro-magnétique qui produit le réglage de la distance des charbons est placé sur le même circuit que l'arc lui-même. Il se trouve donc traversé par le courant tout entier, et ce sont les variations de l'*intensité* de ce courant qui agissent pour rapprocher ou éloigner les charbons, suivant le cas.

Les premiers régulateurs étaient tous établis dans ces conditions; les variations du courant agissaient tantôt sur un solénoïde, comme dans le régulateur d'Archereau, tantôt sur un électro-aimant commandant un mouvement d'horlogerie, comme dans celui de Foucault.

Il nous suffira de décrire quelques types pour en faire comprendre le principe et montrer de quelles variétés ce principe est susceptible dans l'application.

Régulateur Archereau. — C'est un des premiers régulateurs qui ait été construit, car il remonte à l'année 1818. La figure 54 ci-contre permet d'en saisir facilement le principe.

Le charbon positif supérieur est fixe, le charbon négatif inférieur repose sur un cylindre, moitié en fer, moitié en cuivre, placé dans un solénoïde que traverse le courant, il est équilibré

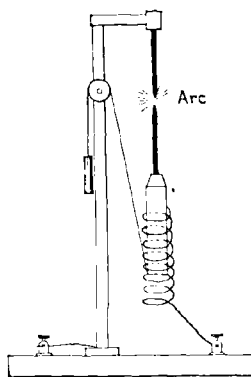


Fig. 54. -- Diagramme de fonctionnement des régulateurs monophotes, réglage par l'intensité du courant. Principe du régulateur Archereau.

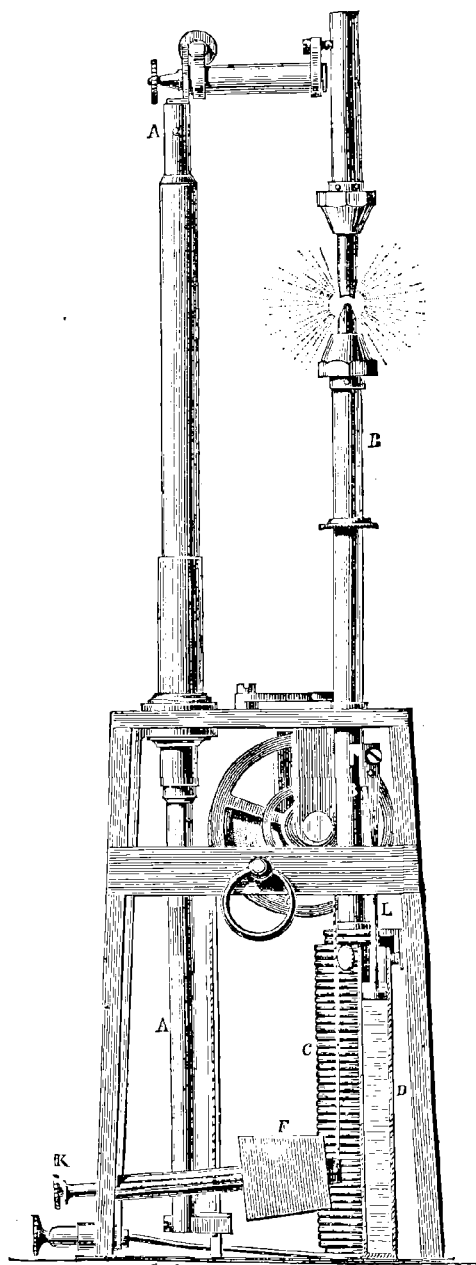


Fig. 55. — Régulateur Jaspas.

par un contre-poids. L'action du solénoïde produit et maintient l'écart entre les deux charbons en exerçant une attraction magnétique sur la tige de fer qui termine le charbon négatif, à la condition que les rapports entre la puissance du solénoïde, le poids de la tige et l'intensité du courant soient bien établis.

Le régulateur Archereau est aujourd'hui abandonné parce que le point lumineux n'est pas fixe dans l'espace et que, d'autre part, il est assez difficile de régler l'action du solénoïde de manière à ne pas causer la rupture de l'arc voltaïque.

Régulateur Jaspas. — Dans cet appareil le rapprochement des charbons tend à se produire par le poids du charbon positif et leur écart par l'action d'un solénoïde, comme dans le système Archereau. Pour éviter les mouvements brusques et don-

ner au charbon négatif un bon contact, il porte une tige latérale plongeant dans du mercure. Un contre-poids à action variable permet de régler l'appareil suivant l'intensité du courant qui le traverse. Un autre contre-poids mobile règle à chaque instant l'action du poids mobile et conserve à l'arc la même longueur pendant toute la durée des crayons.

L'appareil se compose de deux tiges porte-charbons mobiles A et B (fig. 55). La tige A reliée au pôle positif de la machine est guidée verticalement et est munie à sa partie inférieure d'une portée à laquelle est attachée une corde fixée sur la jante d'une poulie de transmission portant un contre-poids E.

La tige B soutient le charbon négatif, elle est en fer à sa partie inférieure et pénètre dans un solénoïde C. Elle est aussi reliée par une petite corde à une seconde poulie faisant corps avec la première et d'un diamètre moitié moindre, de telle sorte qu'à mesure que la tige A descend, la tige B remonte d'une quantité moitié moindre. A la tige B se trouve relié un piston se mouvant dans un cylindre D rempli de mercure en laissant un petit jeu latéral. Un contre-poids F coulisse sur un levier horizontal qui est attaché à une troisième poulie faisant corps avec les deux premières. On peut éloigner ou rapprocher le contre-poids F à l'aide d'un bouton placé extérieurement.

Au repos, les charbons sont en contact. Au moment où le courant passe, le solénoïde attire le noyau de fer de la tige inférieure et maintient l'écart.

Lorsque l'arc s'allonge, le courant s'affaiblit, et les charbons, sollicités par le poids de la tige A, se rapprochent un peu. Le contre-poids F agit en sens opposé de la tige A, puisque, par l'enroulement des cordes, il tend à produire l'écart. Le réglage s'obtient donc aisément par le déplacement du poids F sur la tige, le poids F doit être d'autant plus rapproché du point d'attache de la corde que le régulateur doit fonctionner avec des courants plus intenses.

Le piston plongeant dans le mercure donne un grande douceur aux mouvements de réglage, et il assure en même temps un

excellent contact à la tige négative. L'action du solénoïde sur la tige du porte-charbon B n'est pas la même à la fin qu'au commencement. Cette différence d'action est compensée par le petit contre-poids E qu'on règle en l'approchant plus ou moins du centre. Au commencement, le contre-poids E n'a aucune action ; à la fin, son poids s'ajoute à celui du contre-poids F pour contre-balancer l'action du solénoïde qui est alors plus grande.

Dans une autre disposition, le mécanisme est placé *au-dessus* du point lumineux, au lieu d'être placé au-dessous, mais cela ne change rien au principe et n'apporte à l'appareil que des modifications de détail.

Dans le régulateur à solénoïde de M. *Reynier*, analogue en principe à celui d'Archereau, le charbon inférieur est équilibré par un ressort placé sous le fer doux dans le solénoïde et combiné de telle sorte que, sous la poussée de ce ressort, le fer remonte en cheminant de quantités égales à la somme des longueurs de charbons usées, de manière à maintenir constante la longueur de l'arc voltaïque. Moins complet que les régulateurs Duboscq et Serrin, mais aussi beaucoup moins coûteux, ce petit appareil suffit pour la plupart des expériences d'optique.

Régulateur à ressort moteur. — Dans une autre série d'appareils, au lieu d'appliquer la variation du courant au déplacement *direct* des charbons, on utilise ces variations à des déclanchements de mouvements d'horlogerie.

Le premier de ces régulateurs a été imaginé par *Foucault*, construit et perfectionné ensuite par M. *Duboscq* qui l'emploie dans ses appareils de projection et pour les effets de lumière électrique, dans l'éclairage des scènes de théâtre. Dans l'appareil primitif, il fallait écarter les charbons à la main pour régler la position des charbons et former l'arc voltaïque. Dans l'appareil perfectionné, il y a deux mouvements d'horlogerie distincts, l'un qui sert au rapprochement des charbons et l'autre à leur écartement. Un électro-aimant placé dans le circuit déclanche l'un ou l'autre de ces mécanismes suivant que le courant est plus ou

moins intense. On peut élever ou abaisser le point lumineux pendant la marche, — propriété indispensable pour les projections, — en faisant tourner à la main une des roues dentées d'un barillet de rapprochement ou d'éloignement des charbons. Cet appareil présente l'avantage de pouvoir fonctionner dans toutes les positions, mais il est assez délicat et a besoin d'être réglé pour chaque application spéciale.

Régulateur de M. Serrin. — Le régulateur de M. Serrin répond presque complètement, et d'une façon relativement simple, à tous les besoins d'un appareil de ce genre.

L'appareil de M. Serrin, en effet, laisse les charbons en contact quand le courant ne circule pas ; après les avoir écartés à la distance voulue, lorsque le courant est établi, il les rapproche graduellement sans les laisser arriver de nouveau au contact. Si l'arc est rompu pour une cause quelconque, telle qu'un violent coup de vent ou la rupture d'un charbon, l'appareil les ramène de nouveau au contact,

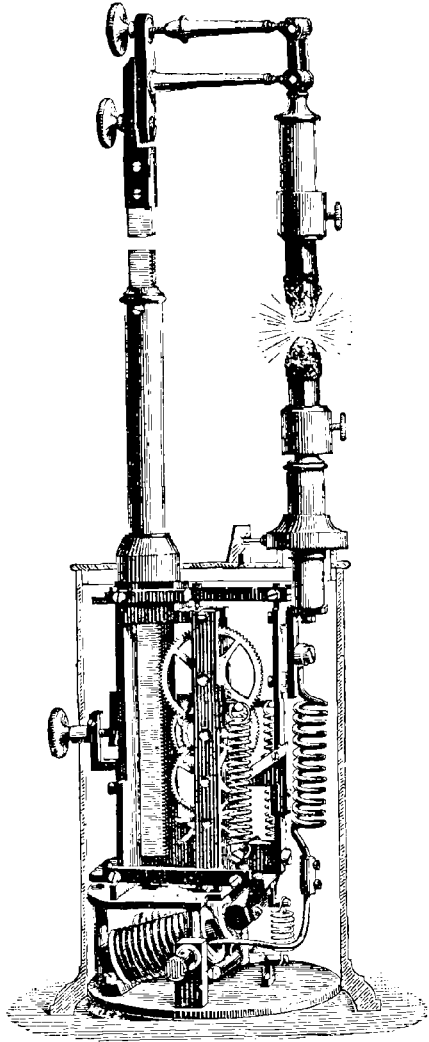


Fig. 56. — Régulateur de M. Serrin, modèle de M. Suisse.

puis les éloigne à la distance nécessaire pour que l'arc voltaïque se produise dans les meilleures conditions. Pour réaliser toutes ces conditions, le porte-charbon positif (fig. 56) constitue une crémaillère agissant sur une série d'engrenages à multiplication de vitesses, dont le dernier correspond à une roue portant un certain nombre de longues dents en forme d'étoile. C'est un système à poids moteur.

Lorsque le courant ne traverse pas l'appareil et que les charbons sont séparés, le défilement des engrenages a lieu jusqu'à ce que les deux charbons se touchent. A ce moment, l'électro-aimant devient actif et, en attirant son armature, fait descendre un parallélogramme articulé auquel il est fixé ; ce parallélogramme embraye la roue à dents, arrête par suite la descente du charbon positif supérieur et fait descendre le charbon négatif inférieur relié à ce parallélogramme. Si l'arc s'allonge, l'intensité du courant s'affaiblit, le parallélogramme remonte sous l'action des deux ressorts qui le supportent et produit le déclenchement de la roue étoilée, ce qui permet au charbon supérieur de descendre d'une certaine quantité, jusqu'à ce que l'arc, suffisamment raccourci, et l'intensité ramenée à sa valeur normale, il y ait un nouvel arrêt et par suite un nouvel état d'équilibre. Si, au contraire, les charbons sont trop rapprochés, l'intensité du courant augmente et le parallélogramme, attiré plus fortement par l'électro-aimant, descend davantage et produit un plus grand allongement de l'arc voltaïque. On voit sur la gauche un bouton qui sert à tendre ou à détendre le ressort antagoniste faisant équilibre à l'action de l'électro-aimant.

Dans ce modèle, construit par M. Suisse, le point lumineux se déplace et descend au fur et à mesure de la combustion des charbons. Dans un modèle plus complet, le point lumineux reste fixe dans l'espace, car le charbon positif descend et le charbon négatif monte en même temps dans un rapport calculé à l'avance et très voisin de 2.

Les régulateurs Serrin sont employés le plus souvent avec les machines Gramme du type d'atelier (page 85). La sensibilité

extrême du régulateur Serrin constitue, dans ces conditions, un inconvénient que nous devons signaler. Lorsque les charbons renferment des impuretés, il se produit des variations dans la puissance de l'électro-aimant, ce qui fait osciller le porte-charbon inférieur. Ces oscillations augmentent ou diminuent l'intensité de l'arc voltaïque et par suite sa résistance. Mais, comme le courant produit par les machines dynamo-électriques varie beaucoup avec la résistance du circuit extérieur — représentée ici par l'arc voltaïque, — il en résulte, par ce fait seul, des variations d'intensité qui multiplient la valeur des oscillations premières et rendent la lumière très instable. Ici le régulateur Serrin pêche par excès de qualités.

On remarque même, à ce sujet, que si les conducteurs ont une résistance un peu grande, les lampes, tout en fournissant moins de lumière, à cause de l'affaiblissement du courant par la résistance du circuit, fonctionnent cependant avec plus de régularité. Cela tient à ce que les variations de résistance de l'arc, tout en conservant la même valeur absolue, ont une moins grande influence sur la résistance totale du circuit. Avec un bon générateur et des charbons bien purs, ces défauts sont évités. A ce point de vue, le montage Wheatstone (page 79), appliqué aux machines dynamo-électriques, constitue un grand progrès dont les générateurs électriques de M. Gramme seront, nous l'espérons, bientôt munis, car dans les machines ainsi disposées, les variations des éléments électriques avec la résistance du circuit extérieur sont *favorables* à la régularité du fonctionnement des régulateurs, au lieu de leur être contraires.

Régulateur Siemens et Hefner-Alteneck. — Ce régulateur à poids moteur a été combiné pour fonctionner avec les machines Siemens (page 83).

Dans ce régulateur à courant continu, le mouvement d'approche des charbons est produit par le poids du porte-charbon positif, qui sert de moteur. Le mouvement d'écartement, au contraire, se produit par un appareil qui n'est autre chose qu'un

petit moteur électrique, dont nous allons examiner maintenant le fonctionnement (fig. 57).

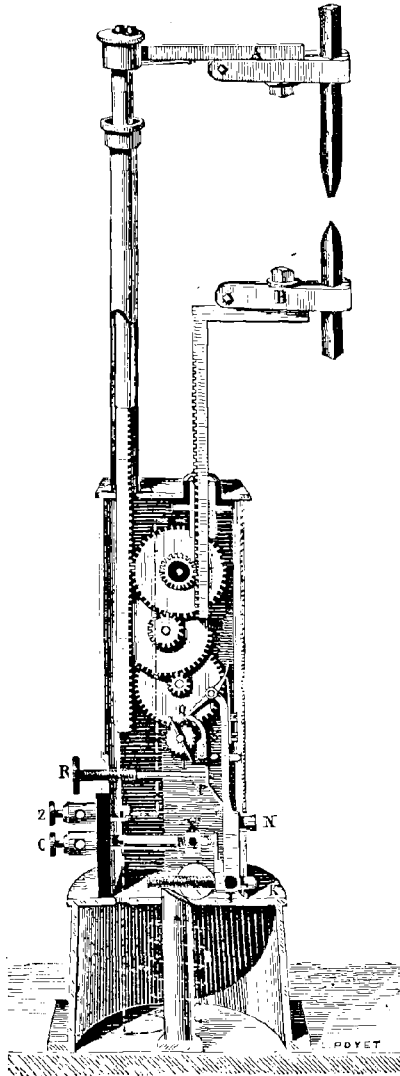


Fig. 57. — Régulateur Hefner-Alteneck à courant continu.

Les organes principaux du régulateur Siemens sont : les deux porte-charbons A et B, un mouvement d'horlogerie actionné par le poids du porte-charbon A et dont le dernier mobile est une roue à rochet dont la vitesse de rotation est modérée par une roue à ailettes I.

Le courant de la machine arrive par la borne C, traverse un électro-aimant E, dont on n'a représenté qu'un des noyaux, arrive par le corps de la lampe au porte-charbon positif A, traverse l'arc et revient à la machine par le porte-charbon B, placé dans une garniture isolée, et la borne Z reliée au pôle négatif.

Au moment où l'on envoie le courant dans la lampe, les charbons sont en contact, le courant est très intense ; il attire son armature cylindrique fixée à un grand levier vertical pivotant autour de Y. Ce levier bascule de droite à gauche autour de Y, et un cliquet Q, fixé à son extrémité, fait tourner la roue I d'une

dent en sens inverse du mouvement du charbon, mais à ce mo-

ment il se produit un contact en X ; le courant traverse alors directement la dérivation de faible résistance produite par ce contact, et l'électro-aimant devient inerte. Sous l'action du ressort P, réglé par la vis R, le levier reprend sa position première ; mais alors le contact en X est rompu, l'aimant est actionné de nouveau : il attire son armature, et la roue I tourne de nouveau d'une dent dans le sens favorable à l'écartement des charbons. Il se produit donc ainsi une succession rapide de mouvements, comme dans le trembleur des sonneries électriques, qui ont pour effet d'écarter les charbons très rapidement jusqu'à une distance normale, pour laquelle l'appareil est réglé. Lorsque cette distance est atteinte, le cliquet Q produit l'embrayage et maintient l'écartement. Le levier est alors près du contact X, et si l'appareil est bien réglé, on sent en mettant le doigt en N une sorte de *frémissement*, qui est l'indice le plus certain de ce bon réglage. Si l'arc s'allonge, l'armature tend à s'éloigner de E et produit le déclenchement de la roue I, ce qui permet le rapprochement des charbons. On dispose dans cet appareil de trois moyens de réglage :

1° La tension du ressort P ;

2° La distance de l'armature à l'électro-aimant, E, distance que l'on règle à l'aide d'une vis K ;

3° Le contact X, réglé une fois pour toutes par le conducteur d'après la course du levier et la longueur des dents du rochet.

En pratique, en agissant sur le ressort P, à l'aide de la vis R, on obtient un bon fonctionnement de l'appareil, auquel on pourrait peut-être reprocher une certaine délicatesse dans les organes et le bruit produit par les mouvements du levier.

Régulateur de M. Carré. — Dans les régulateurs de M. Carré, appliqués plus spécialement aux courants *alternatifs*, le poids du charbon supérieur sert aussi de moteur comme dans les appareils de M. Serrin, mais l'action du courant s'exerce sur des solénoïdes dans lesquels pénètrent des tiges de fer doux reliées au mouvement d'écartement des charbons et de déclenchement.

Régulateur Bürgin. — Dans cet appareil, l'écartement des

charbons se produit par l'action d'un parallélogramme articulé portant le charbon inférieur, et l'arrêt par un petit sabot formant frein sur une poulie de grand diamètre qui vient s'y appuyer pour produire l'embrayage, lorsque l'arc a atteint sa longueur normale. Si l'arc s'allonge, l'intensité du courant diminue et l'électro-aimant devenant moins puissant, le frein est desserré et le rapprochement des charbons peut se produire. L'appareil est si sensible que lorsque la machine Gramme qui l'alimente est mise en action par un moteur à gaz à explosion, comme le *moteur Otto* par exemple, le mouvement de l'armature du régulateur trahit toutes les variations de vitesse, en même temps que l'intensité de la lumière augmente ou diminue.

Ces exemples suffisent pour montrer que les régulateurs peuvent varier à l'infini. Il suffit, pour en *inventer* un nouveau, de combiner convenablement les aimants, solénoïdes, mouvements d'horlogerie, ressorts, poids moteurs, qui se retrouvent individuellement dans chaque appareil.

RÉGULATEURS POLYPHOTES OU A DIVISION.

Lorsque l'on place plusieurs régulateurs monophotes sur un même circuit, on constate qu'il est impossible de les faire fonctionner longtemps sans qu'ils se dérèglent. On comprendra facilement la raison de cette impossibilité en pensant au principe même de l'action de réglage. Il faut, pour que l'appareil soit en équilibre, que l'*intensité* du courant ait une valeur donnée. Il arrive alors pratiquement qu'un des deux arcs placés sur le même circuit a une longueur trop grande et l'autre une longueur trop petite, sans que pourtant l'intensité du courant cesse d'avoir la valeur qui correspond à l'équilibre dans chacune des lampes. Il faut donc assurer l'indépendance de chacune d'elles en agissant sur la résistance propre de l'arc pour le raccourcir s'il est trop long, l'allonger s'il est trop court, indépendamment de tous les autres placés sur le même circuit. Les régulateurs *polyphotes* sont ceux qui réalisent cette condition.

Le principe qui a permis d'obtenir ce résultat est celui de la *dérivation*. Il a été appliqué aux régulateurs avant même qu'on ne songe à réaliser la division de la lumière, alors que les piles étaient la seule source électrique connue capable de produire l'arc voltaïque. Dans le régulateur à écoulement de mercure de *Lacassagne et Thiers* (1855), on trouve déjà une bobine de dérivation dont le rôle était de raccourcir l'arc voltaïque lorsque les charbons étaient trop éloignés en laissant écouler du mercure, ce qui soulevait le porte-charbon inférieur.

Cette disposition d'électro en dérivation a été reprise plus tard lorsque, en présence de la puissance en quelque sorte illimitée des machines dynamo-électriques, on a voulu alimenter plusieurs foyers placés sur un même circuit par une seule machine.

Les régulateurs à division peuvent se diviser en deux classes distinctes par les actions électriques en jeu.

a. Les *régulateurs différentiels*, dans lesquels le réglage tend à établir un équilibre entre l'*intensité* du courant qui traverse l'arc voltaïque et la différence de potentiel ou de *pression* électrique à la base des deux charbons, différence intimement liée à la résistance électrique de l'arc.

b. Les *régulateurs à dérivation*, dans lesquels l'intensité du courant qui traverse les charbons ne joue plus aucun rôle, le réglage tend à maintenir constante la différence de potentiel aux deux bornes de la lampe ; il agit donc plutôt par la variation de la *résistance* de l'arc que par les variations de l'*intensité* du courant qui la traverse.

Dans les deux systèmes, le réglage de chaque lampe est individuel et *indépendant*, dans une très grande mesure, de celui des autres lampes placées dans le même circuit, condition indispensable à leur bon fonctionnement.

Cela se comprendra mieux en étudiant le fonctionnement des principaux appareils fondés sur ces deux systèmes.

a. — Régulateurs différentiels.

Le type des appareils de cette nature est le régulateur différentiel de M. Hefner-Alteneck, plus connu sous le nom de régulateur ou lampe différentielle de M. Siemens.

Lampe différentielle de M. Siemens. — Bien que le système fonctionne toujours avec des courants alternatifs, on peut, pour l'explication, considérer le courant comme continu à l'instant considéré. Étudions d'abord ce fonctionnement sur le dia-

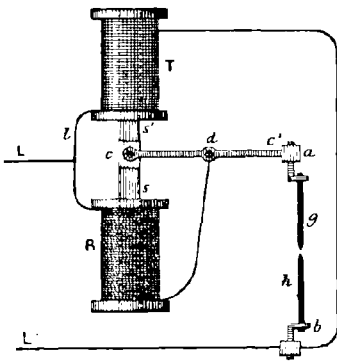


Fig. 58. — Diagramme de la lampe différentielle de M. Siemens.

gramme (fig. 58). Le courant arrivant de la machine en L se divise en deux parties : une partie du courant traverse une bobine T formée de fil très fin et très résistant, et sort par bL' pour aller à la lampe suivante ; une seconde partie du courant traverse une bobine R à fil gros et court ; en sortant de R, il traverse l'arc voltaïque formée entre les charbons g , h et va par bL' à la lampe suivante.

Le courant est donc partagé en deux fractions très inégales, la plus faible traverse la bobine T qui a une résistance *fixe* et très grande ; la plus grande partie du courant traverse l'arc voltaïque qui constitue une résistance *variable* avec l'écartement des charbons. Plaçons à l'intérieur de chaque bobine une tige de fer doux s , s' , reliée par un levier cda au charbon ga , et voyons ce qui va arriver.

Chacune des bobines attire le solénoïde qui lui correspond avec une force proportionnelle à l'intensité et au nombre de tours. On conçoit donc que, pour une certaine résistance convenablement réglée de l'arc voltaïque, les résistances relatives des deux circuits seront telles que les actions des bobines sur les

tiges s, s' , soient égales, et le levier cda prendra une certaine position d'équilibre. Si la résistance de l'arc vient à *augmenter*, cet équilibre sera détruit, l'action de la bobine T deviendra prépondérante, le levier cda oscillera autour de d et rapprochera les charbons. L'inverse se produirait si la résistance venait à diminuer, car alors la bobine R exerçant une plus grande action sur la tige a' , il y aurait écart des charbons. Le régulateur n'agit plus alors par les variations de l'intensité du courant dans le circuit, comme dans la lampe Serrin, par exemple, mais par les variations de résistance de l'arc voltaïque.

Tel est le principe de l'appareil représenté sous la forme pratique (fig. 59). L'action prépondérante de la bobine T a pour effet de faire déclancher un petit encliquetage qui permet au charbon supérieur de descendre par son propre poids. Pour que cette descente du charbon se fasse lentement et régulièrement, il y a une sorte de petit balancier de pendule qui ne permet que l'échappement d'une dent par oscillation, et comme on peut arrêter la descente à chaque cinquième d'oscillation de ce petit pendule, il en résulte que les mouvements sont absolument imperceptibles et ne nuisent en rien à la fixité de la lumière.

Pour que les mouvements du noyau de fer soient plus doux, et pour qu'il ne vibre pas sous l'action des courants alternatifs, il est relié à une petite pompe à air, qui a pour effet de rendre ses mouvements *plus gras*. Lorsque l'écart des charbons se produit, le mécanisme est soulevé avec le charbon supérieur, jusqu'à ce que la distance des pointes corresponde à celle pour laquelle l'appareil est réglé. Ce réglage se fait très facilement, sans ressort antagoniste, en élevant plus ou moins la bobine à fil fin pour varier son action.

Le charbon inférieur étant *fixe*, il s'ensuit que le point lumineux descend au fur et à mesure de l'usure des charbons, mais comme le mécanisme est placé tout entier *au-dessous* du point lumineux, il n'y a point d'ombre portée par le socle de l'appareil, et ce déplacement ne présente pas d'inconvénient dans ces con-

ditions, surtout lorsque la lampe est placée un peu haut; le mécanisme est caché dans une enveloppe cylindrique en cuivre qui le préserve et sert à le suspendre.

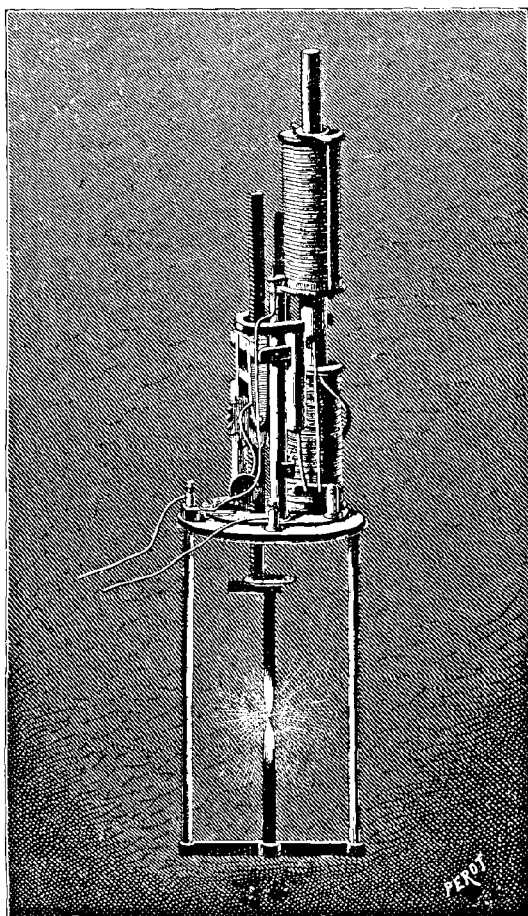


Fig. 59. — Lampe différentielle de M. Siemens.

On peut éteindre une lampe sans que les autres en soient affectées; il suffit pour cela d'introduire une *clef* dans le communicateur, ce qui a pour effet d'établir une *communication directe*: en enlevant la *clef*, la lampe éteinte se rallume aussitôt.

Signalons encore une disposition simple et ingénieuse :

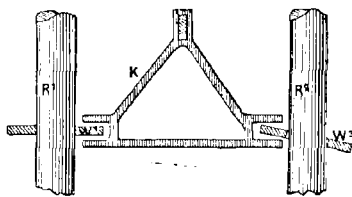
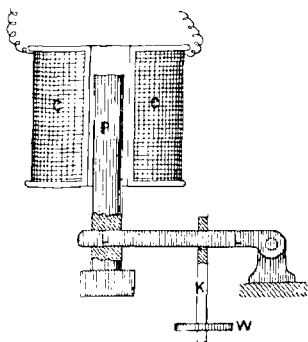
La crémaillère du porte-charbon mobile porte une petite traverse qui, lorsque cette première est au bout de sa course, vient s'appuyer sur deux petits contacts en platine reliés aux bornes et établit automatiquement une communication directe. Cela a pour but de ne pas laisser s'éteindre toutes les lampes d'un même circuit lorsque les charbons de l'une d'elles sont usés et qu'on a oublié de les remplacer à temps. Une machine à lumière à 16 bobines dépense, avec son excitatrice, une force d'environ dix chevaux et alimente vingt lampes d'une puissance d'environ vingt-cinq becs Carcel chacune.

Régulateur Brush. — Il est aussi, comme la lampe de Siemens, fondé sur le principe de l'action différentielle ; seulement, au lieu d'employer deux bobines séparées, M. Brush se sert d'un solénoïde à deux fils, l'un court et gros placé sur *le même circuit* que l'arc voltaïque, l'autre long et fin placé *en dérivation* sur l'arc lui-même. Le charbon supérieur descend par son propre poids jusqu'au contact du charbon inférieur, qui est fixe. Le mécanisme est placé à la partie supérieure, ce qui dégage le point lumineux. Au moment où il y a contact entre les charbons, le courant passe en totalité dans le gros fil, le solénoïde C (fig. 60) devient très puissant ; il attire, il aspire le noyau P, qui, par l'intermédiaire des leviers L et R, vient soulever une bague W qui relève, en le coinçant, le porte-charbon R', et forme l'arc. Mais à mesure que l'arc s'allonge, il passe une plus grande partie du courant dans le fil fin en dérivation ; comme son action sur le solénoïde est de sens inverse à celle du gros fil, elle affaiblit sa puissance, et bientôt il s'établit un état d'équilibre correspondant à la longueur normale de l'arc.

Si l'arc tend à s'allonger encore, l'action du gros fil, qui est prépondérante sur celle du fil fin, diminue encore, la bague W laisse glisser légèrement le porte-charbon, l'arc se raccourcit ; si le glissement a été trop grand, le solénoïde soulève le noyau P, et l'arc s'allonge un peu pour reprendre sa longueur normale, et ainsi de suite. Pratiquement, la tige supérieure glisse lente-

ment dans la rondelle, au fur et à mesure de la consommation du charbon, et le mouvement de cette tige est rendu assez lent parce que l'extrémité supérieure du porte-charbon porte un petit piston glissant à frottement doux dans un cylindre rempli de glycérine, pour rendre ses mouvements moins brusques.

La lampe à un seul charbon, disposée comme nous venons de le dire, peut brûler huit heures. Lorsque l'éclairage dure toute la nuit, on fait usage de la lampe à deux charbons, et sa durée est ainsi portée à seize heures. Lorsque la première paire de



RÉGULATEUR BRUSH.

Fig. 60. — Solénoïde à deux fils du régulateur Brush.

Fig. 61. — Disposition des changements de charbon dans la lampe double.

charbons est brûlée, la seconde paire la remplace automatiquement jusqu'à ce qu'elle soit consumée à son tour.

Les figures 60 et 61 montrent comment cet effet se produit. Dans la lampe à double charbon, le noyau P soulève ou abaisse le petit bâti K par l'intermédiaire du levier L. R₁ et R₂ sont les tiges porte-charbons, et W¹ et W² les bagues qui les entourent. Lorsque le bâti s'élève, les bagues sont soulevées obliquement, mais, comme l'une des mâchoires est établie un peu plus haut que l'autre, il en résulte qu'elle commence à agir la première et relève son charbon plus haut que son voisin. Un seul arc s'établit entre les charbons les plus rapprochés; l'alimentation et le réglage se portent sur la paire de charbons où l'arc s'est formé.

primitivement, parce que, bien que les mouvements des deux paires de charbons soient solidaires, la seconde paire est toujours plus élevée que la première. Lorsque le porte-charbon de la première paire est arrivé au bas de sa course, l'arc s'allonge, et, à un moment donné, le courant ne peut plus passer que par les charbons de la seconde paire, qui viennent au contact, et se règlent ensuite exactement comme la première paire.

A chaque nouveau rallumage, il se produit donc une certaine variation dans la résistance du circuit; mais, comme elle ne porte que sur $1/16^e$ ou $1/32^e$, et même $1/40^e$ de la résistance du circuit total, l'éclat des autres foyers n'en est pas sensiblement affecté.

L'ensemble du système fonctionne d'une façon régulière et fournit une lumière très fixe et d'une intensité variant entre 60 et 90 becs Carcel par foyer. Il est d'une installation simple et économique; mais l'emploi d'un aussi grand nombre de foyers sur un même circuit est sujet à de graves objections.

En s'en tenant comme limite extrême au circuit de seize foyers, on se placerait, à notre avis, dans des conditions moins dangereuses, tout en faisant une large part à la question d'économie, qui paraît avoir surtout guidé M. Brush dans l'ensemble et les détails de son ingénieux système.

Régulateurs différentiels divers. — Dans le système de M. *Weston*, on retrouve l'électro à double fil et la tige glissante relevée par coincement, comme dans le régulateur Brush. Les qualités de fixité et de simplicité sont à peu près équivalentes.

Dans une disposition imaginée par M. *Tchikoleff* et appliquée depuis l'année 1877 dans l'artillerie russe, le système de réglage se compose d'un anneau de Gramme placé entre deux électro-aimants formant champ magnétique. L'un d'eux, à gros fil, est traversé par le courant général, l'autre, à fil fin, par un courant dérivé; l'anneau peut tourner dans un sens ou dans l'autre suivant que l'un des électro-aimants a une action prépondérante, puisque, par leurs polarités inverses, ils tendent à empêcher l'anneau de tourner lorsque leur puissance est égale. Ce double

mouvement de rotation est utilisé pour produire l'écart ou le rapprochement des charbons, avec cet avantage que les mouvements sont d'autant plus rapides que l'appareil est plus éloigné de sa position d'équilibre.

Le régulateur de M. Tchikoleff fonctionne avec des courants continus, sans mécanisme d'horlogerie ni ressorts antagonistes.

Citons encore le régulateur *Shuckert*, identique à celui de M. Tchikoleff, celui de M. *Berjot*, analogue au différentiel de Siemens et fonctionnant avec des courants alternatifs, ceux de MM. *Gravier*, *Crompton*, etc.

b. — Régulateurs à dérivation.

Dans ces appareils, le réglage s'effectue sous l'influence des variations de résistance de l'arc et, par suite, du courant qui traverse un électro-aimant ou un solénoïde établi en dérivation sur les bornes de la lampe.

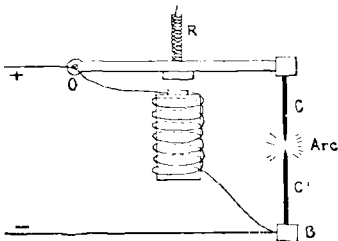


Fig. 62. — Principe des régulateurs à dérivation.

Le diagramme de la figure 62 permet d'en saisir le principe. On voit, en étudiant la marche des courants, que l'électro *augmente* de puissance lorsque l'arc *s'allonge*;

il tend alors à rapprocher les charbons. C'est l'inverse de ce qui se produit dans les monophotes pour lesquels l'électro *augmente* de puissance lorsque l'arc *se raccourcit*.

M. Tchikoleff a appliqué pour la première fois la dérivation à un régulateur de Foucault. Le ressort antagoniste était remplacé par un électro-aimant à fil très fin monté en dérivation.

Les armatures des deux électro-aimants étaient placées aux deux extrémités d'une bascule portant un levier de déclenchement des mécanismes de rapprochement ou d'éloignement des charbons. Il y avait équilibre lorsque la résistance de l'arc était normale. Si l'arc s'allongeait, sa résistance augmentait, l'action

de la bobine à fil fin devenait prépondérante et, en faisant basculer l'armature, déclenchait le mouvement de rapprochement des charbons. L'effet inverse déclenchait, au contraire, le mouvement d'écartement.

Régulateur de M. Lontin. — Dans l'appareil de M. Lontin, à l'inverse du régulateur Serrin, la palette de l'électro-aimant est disposée pour que la lampe soit toujours embrayée, et le débrayage ne se produit que si l'arc atteint une trop grande longueur, car alors le courant passant dans la dérivation devient plus intense, attire son armature, et débraye le mouvement de rapprochement des charbons. Dans d'autres modèles, l'électro-aimant est remplacé par un solénoïde, ce qui ne change rien au principe, mais empêche les vibrations de l'armature lorsqu'on emploie des courants alternatifs.

L'appareil de M. Lontin a permis de placer sur un circuit unique jusqu'à douze régulateurs en tension. Avec une seule machine Lontin à division, on a pu alimenter jusqu'à trente et un régulateurs fondés sur ce système, et disposés sur différents circuits convenablement distribués, grâce au *manipulateur* dont nous avons parlé page 102.

Régulateur de M. de Mersanne. — Ce régulateur a été combiné pour permettre d'obtenir une lumière de seize heures au moins en employant de très longs charbons, tout en n'intercalant dans le circuit qu'une faible partie de leur longueur, pour ne pas augmenter inutilement la résistance.

Les charbons sont entraînés par un mouvement d'horlogerie qui sert à la fois à l'écart et au rapprochement des charbons.

Lorsque l'arc tend à s'allonger, il passe une plus grande partie du courant dans un électro-aimant placé en dérivation, l'armature déclenche le mouvement d'horlogerie qui provoque le rapprochement des charbons jusqu'à ce que la résistance de l'arc soit revenue à sa valeur normale.

Le mouvement d'écartement nécessaire pour la formation de l'arc est obtenu par un second électro-aimant établi dans le même circuit de dérivation qui n'agit que lorsque le courant

passé tout entier dans cette dérivation, soit par la rupture de l'arc, soit parce que l'arc ne s'est pas formé. Au moment où le courant passe dans les électro-aimants de dérivation, le premier laisse défilé le mouvement d'approche, le second attire son armature et tend à rapprocher l'un des charbons. Lorsque les deux charbons sont en contact, les électro-aimants de dérivation

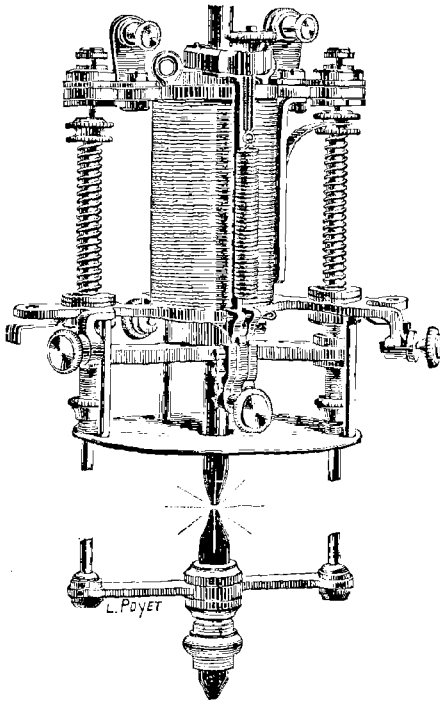


Fig. 63. — Régulateur à dérivation de M. Anatole Gérard.

deviennent à peu près inertes, la plus grande partie du courant passant par l'arc ; ils lâchent leurs armatures ; celle du premier arrête le défilement des charbons, celle du second produit l'écart sous l'action d'un ressort antagoniste.

Régulateur de M. Gérard. — Le régulateur de M. A. Gérard est disposé au-dessus des charbons et fonctionne avec des courants alternatifs. Il se compose d'un cadre (fig. 63) formé par deux tiges verticales et des traverses qui supportent un électro-aimant à une seule branche, dont

le noyau est creux pour laisser passer librement le charbon supérieur. Cet électro-aimant est à fil fin et est monté *en dérivation* sur les bornes de la lampe. Un frein articulé portant une vis, qui appuie sur le charbon, le maintient et l'empêche de descendre ; l'effort du frein contre le charbon se règle en tendant plus ou moins un ressort de réglage. Ce frein porte une armature à la partie supérieure, et, lorsque cette armature est attirée, le frein dégage le

charbon et le laisse descendre. Le charbon inférieur est supporté par un cadre vertical mobile dont la partie supérieure porte une armature placée à l'extrémité inférieure de l'électro-aimant. Ce cadre mobile est équilibré par deux ressorts en spirale qu'on voit à droite et à gauche de l'électro-aimant. Au repos, les charbons *ne sont pas en contact*.

Voici maintenant comment fonctionne l'appareil : Lorsque le courant est envoyé dans la lampe, les charbons sont écartés, il ne peut donc passer que par le fil fin. L'électro-aimant devient alors très puissant, il attire les deux armatures supérieure et inférieure. L'armature supérieure, agissant sur le frein, dégage le charbon supérieur et le laisse descendre. L'armature inférieure soulève le cadre et le charbon inférieurs. Dès qu'il y a contact des deux charbons ainsi sollicités à se rapprocher, l'arc s'établit et le courant qui passe dans la dérivation s'affaiblit dans une grande mesure. L'armature inférieure retombe, fait descendre le charbon inférieur et produit l'écart nécessaire. D'autre part, l'armature inférieure du frein est en partie relâchée, et la vis vient presser contre le charbon supérieur et l'empêcher de descendre.

Si le ressort est convenablement réglé, il y a équilibre; mais, à mesure que les charbons s'usent, l'arc tend à s'allonger, et la puissance du courant dans l'électro-aimant en dérivation augmente.

Le frein se trouve donc desserré de plus en plus et, par suite du frémissement de l'armature dû aux courants alternatifs, le charbon supérieur glisse imperceptiblement, d'une façon continue, pour maintenir l'écart convenable.

Régulateur de M. Gramme. — Dans cet appareil, le porte-charbon inférieur est fixe, le point lumineux mobile, et le mécanisme placé à la partie supérieure dans une enveloppe métallique cylindrique.

Le mécanisme comprend deux parties distinctes : l'une assure l'avancement progressif des charbons, l'autre le recul pour la formation de l'arc. L'électro-aimant à gros fil AA (fig. 64), placé dans le circuit de l'arc voltaïque, est fixé aux entretoises de

l'enveloppe; son armature C supporte les tiges E, qui traver-

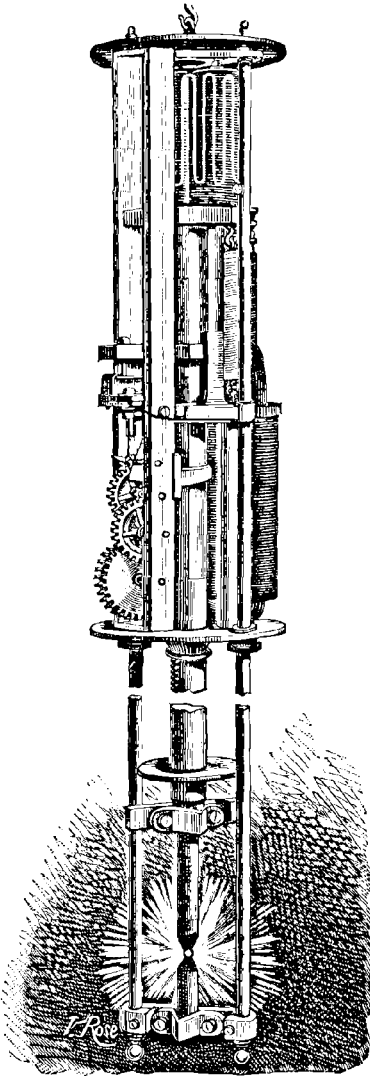


Fig. 64. — Vue d'ensemble du régulateur de M. Gramme.

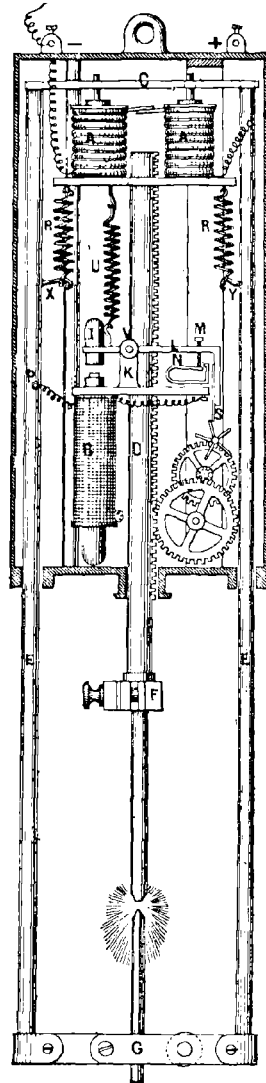


Fig. 65. — Diagramme du régulateur de M. Gramme.

sent tout le régulateur et se prolongent jusqu'au porte-charbon

inférieur G. Deux ressorts RR maintiennent l'armature C éloignée de AA lorsque le courant ne passe pas. Ce mécanisme constitue le mouvement d'écartement des charbons pour la formation de l'arc.

Le mouvement d'avancement des charbons est produit par la tige D, très pesante, qui agit par son poids comme moteur; cette tige, dentée d'un côté, soutient le porte-charbon supérieur F. Un électro-aimant fixe B, à grande résistance, monté en dérivation sur l'arc, agit sur une armature I reliée à un levier L, dont le point d'oscillation est en K.

Un ressort U règle la résistance de l'armature à l'action de l'électro-aimant, et une petite tige S, fixée au levier L, embraye le mouvement d'horlogerie et, par suite, empêche la descente du charbon supérieur tant que l'armature I n'est pas attirée. Une vis M fixée sur le levier L, et un ressort N placé sur une pièce K isolée électriquement des autres organes, complète le mécanisme. Voici maintenant comment fonctionne l'appareil.

Au repos les charbons se touchent, les armatures C et I sont éloignées de leurs électros respectifs. Au moment où l'on envoie le courant, l'électro AA attire C, l'écart des charbons se produit, et l'arc s'allume. Il ne passe dans l'électro B qu'une partie du courant. Tant que l'arc conserve sa longueur normale, les pièces du mécanisme conservent cette position relative. Lorsque l'arc s'allonge, par suite de l'usure des charbons, l'intensité du courant qui traverse la dérivation, c'est-à-dire l'électro B, devient plus grande; à un moment donné son attraction sur I est plus grande que l'action du ressort antagoniste U; le levier L bascule, la lame S dégage les engrenages, le porte-charbon supérieur descend et l'arc se raccourcit.

La vis M quitte alors le ressort N, le courant cesse de traverser l'électro B. L'armature I, sollicitée par le ressort U, reprend sa position horizontale; le contact de la vis M et du ressort N s'opère de nouveau, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'arc ait repris sa longueur normale.

Veilleur automatique. — Le veilleur automatique est un

appareil ayant pour but de rétablir instantanément et automatiquement le circuit général, pour empêcher l'extinction de toutes les autres lampes de la même série, lorsque, pour une raison quelconque, une lampe est mise hors de service pour un temps plus ou moins long, accidentellement ou volontairement.

Il se compose d'un électro-aimant à fil fin, monté en dérivation

sur le circuit. Les deux bornes inférieures (fig. 66) communiquent avec deux godets en fer à moitié remplis de mercure, la borne de gauche est reliée au fil d'entrée et la borne de droite au fil de sortie du courant.

Au-dessous de l'électro-aimant droit se trouve une armature portant un petit crochet auquel se trouve suspendue, par un second crochet, une traverse supportant deux tiges en fer, placées juste au-dessous des godets à mercure. Lorsque le courant passe dans la lampe, l'électro-aimant en dérivation du veilleur ne reçoit pas assez de courant pour attirer son armature. Lorsque le courant

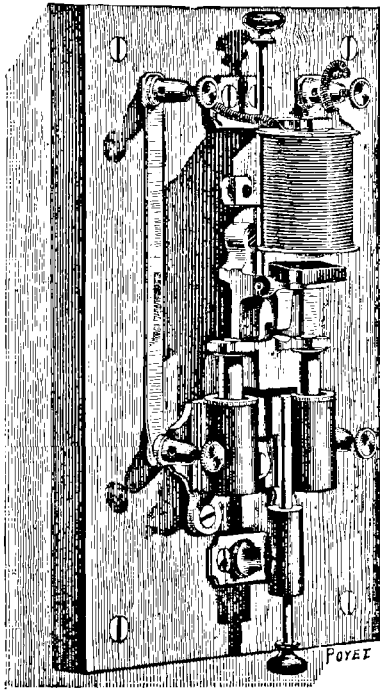


Fig. 66. — Veilleur automatique de M. Anatole Gérard.

ne traverse plus la lampe, en cas d'accident, par exemple, l'électro-aimant devient assez puissant pour attirer son armature qui bascule, dégage les crochets, et laisse tomber les tiges en fer dans les godets à mercure; il s'établit alors une communication directe, la lampe se trouve mise hors du circuit, qui reste ainsi complet.

Lampe de M. Robert Mondos. — Dans ce système, le

charbon inférieur est fixe, le charbon supérieur est mobile et descend par son propre poids, sous l'action du mécanisme de réglage qui se compose de deux bobines à fil fin E (fig. 68) montées en dérivation sur les bornes de la lampe, d'un levier L

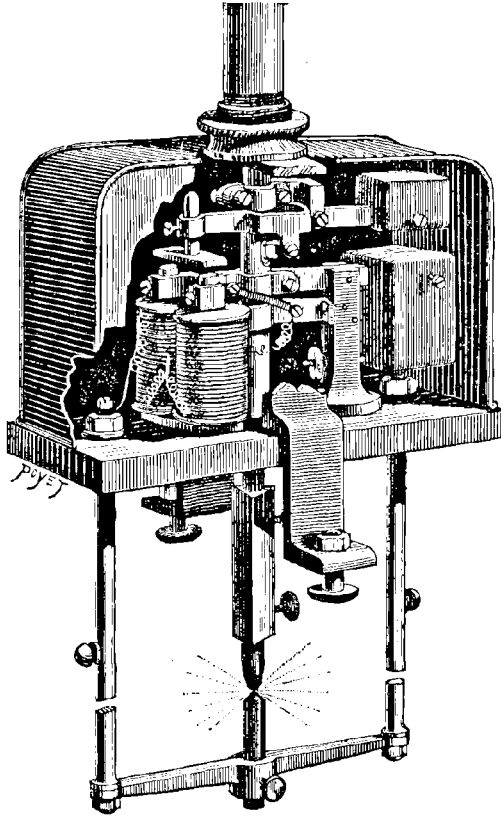


Fig. 67. — Lampe électrique de M. R. Mondos.

articulé en O supportant un tube TT' et toute la partie mobile équilibrée par un contrepoids P. Ce levier P porte deux noyaux de fer doux F qui plongent dans les bobines E et s'aimantent sous l'influence du passage du courant. La partie supérieure du tube T porte une équerre sur laquelle se trouve articulé en O' un second levier L' équilibré par un second contrepoids P' et

portant une armature plate p en regard des noyaux F fixés sur le premier levier horizontal L . La tige porte-charbon CC' glisse librement dans le tube TT' et se trouve *coincée* dans ce tube par une petite pièce ou frein alm fixée sur le levier L' ; à cet effet, le tube TT' porte une échancrure en regard de la pièce alm : les deux bras a et m du frein sont taillés en forme de V, comme on le voit à part en plan dans le bas de la figure 68. Il est maintenant facile de comprendre comment fonctionne le système. Lorsque le courant ne traverse pas le circuit, les charbons sont

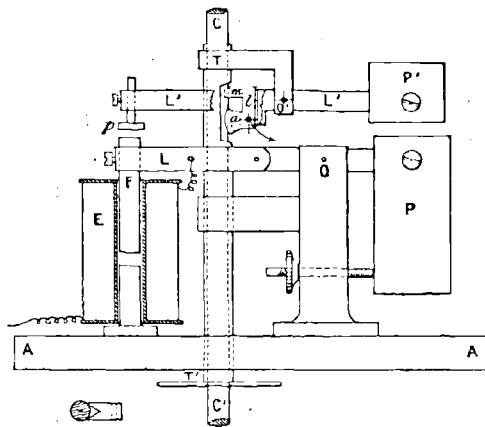


Fig. 68. — Lampe électrique de M. R. Mondos. Mécanisme de réglage.

écartés; au moment où l'on ferme le circuit pour l'allumage d'une série de lampes, le courant traverse l'électro-aimant à fil fin qui devient alors très puissant, les noyaux F sont aspirés, le levier P bascule, entraîne le tube TT' , la tige porte-charbon CC' , et amène les charbons au contact. L'arc se forme alors, le courant se partage entre l'arc et le fil des bobines E , son action sur les noyaux F s'affaiblit, elle ne peut plus faire équilibre au contrepoids P qui retombe en remontant le système; l'arc se trouve ainsi *amorcé*. Les noyaux F conservent cependant une certaine aimantation, l'armature p est attirée et le levier L' prend une position d'équilibre telle que le frein coince la tige

CC' dans le tube TT' et la maintient suspendue. Lorsque, par l'usure des charbons, l'arc s'allonge, il passe une plus grande partie du courant dans les bobines E, l'armature p est attirée avec plus de force, le levier L' bascule autour du point O'; la rotation de L' éloigne le frein de la tige CC' qui se trouve ainsi desserrée, glisse par son propre poids et raccourcit l'arc. Le courant s'affaiblit alors dans E, l'armature p est moins attirée, le levier L' pivote légèrement autour de O' sous l'action du poids P', le frein se serre de nouveau et arrête la descente du charbon. En pratique, les mouvements que nous venons de décrire sont excessivement petits, le charbon progresse d'une manière insensible, et la longueur de l'arc reste invariable.

On voit donc que le levier L et le tube TT' servent exclusivement à l'*allumage*, et le levier L' exclusivement au *réglage* de la distance des charbons.

Cette lampe présente une très grande élasticité et peut fonctionner, sans changer aucune pièce de son mécanisme, avec des courants d'intensités très différentes; il suffit, pour obtenir dans chaque cas un bon fonctionnement de l'appareil, de régler la distance du poids P' au point de suspension O' et la distance de la palette p aux noyaux F. Au concert des Champs-Élysées, les lampes fonctionnent avec des courants alternatifs, mais elles peuvent fonctionner également bien avec des courants continus, bien que le petit *frémissement* du système électro-magnétique, dû à l'emploi des courants alternatifs, par suite des changements rapides d'aimantation, paraisse, en principe, très favorable aux systèmes dans lesquels la descente du charbon est fondée sur un *frottement*, au lieu de l'être sur un *embrayage*.

LAMPES ÉLECTRIQUES A ÉCART FIXE.

Un foyer électrique, pour bien fonctionner, doit être traversé par un courant d'un volume déterminé sous une *pression* ou différence de potentiel déterminée.

Dans les régulateurs *monophotes*, on s'attache à maintenir la

constance du *volume* ou de l'intensité du courant qui traverse le conducteur.

Dans les régulateurs *différentiels*, on maintient toujours un certain rapport entre le volume débité et la pression, c'est-à-dire entre l'intensité et la différence de potentiel aux bornes de la lampe.

Dans les régulateurs à *dérivation*, le réglage se porte seulement sur la *pression* ou différence de potentiel aux bornes, qu'on s'efforce de maintenir constante, quelle que soit l'intensité du courant qui traverse l'arc. Aussi ce dernier système est-il celui qui représente le plus d'élasticité et qui s'accommode le mieux aux variations de débit du générateur électrique qui l'alimente.

Faisons remarquer en passant que tous les régulateurs à division, différentiels ou à dérivation, peuvent fonctionner en *monophotes*, mais que la *réciprocité* n'est pas vraie.

Il nous reste maintenant à parler d'une dernière classe de régulateurs, ou plutôt de *lampes* électriques dans lesquelles le réglage est totalement supprimé. On s'attache seulement à maintenir une *distance géométrique constante* entre les deux pointes de l'arc, quels que soient la pression et le volume du courant.

Les appareils à écart fixe ne disposant pas de moyens de réglage exigent une plus grande constance de la source électrique, puisqu'ils ne peuvent pas se plier à ses variations; ils donnent aussi, en général, une lumière moins fixe et moins belle que les régulateurs. Par suite des perfectionnements et des simplifications apportés aux régulateurs, les appareils à écart fixe perdent chaque jour de leur importance. Ce sont des appareils *intermédiaires entre les régulateurs que nous venons d'examiner et les bougies dont nous parlerons dans le chapitre suivant.*

Lampe de M. Brockie. — La lampe de M. *Brockie* est aussi un régulateur à division dans lequel on réajuste la distance des charbons toutes les minutes ou toutes les demi-minutes en interrompant le circuit automatiquement pendant une petite fraction de seconde. Au moment de l'interruption, l'électro-aimant qui maintenait les charbons devient inerte, le charbon

supérieur retombe au contact, et lorsqu'on envoie le courant de nouveau, l'électro-aimant les replace à la distance normale et les maintient immobiles jusqu'au réajustage suivant. L'éclipse est de si courte durée qu'elle est presque imperceptible, et l'usure des charbons si faible entre deux réajustages successifs qu'elle n'influe pas sensiblement sur la résistance du circuit et par suite sur l'intensité du courant qui le traverse.

Dans une nouvelle disposition, l'électro-aimant de réajustage n'est pas établi sur le circuit même ; il est alimenté par un circuit auxiliaire branché en dérivation sur la lampe, et c'est seulement sur ce circuit que portent les interruptions de courant.

Lampe Solignac. — Lorsque l'intensité du courant qui

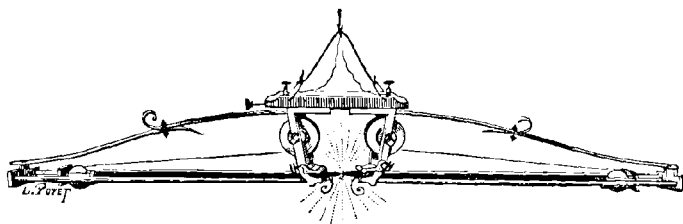


Fig. 69. — Vue d'ensemble de la lampe électrique de M. Solignac montrant le mécanisme qui sollicite le rapprochement des charbons.

traverse un arc voltaïque entre deux pointes de charbon est constante, la quantité de chaleur développée dans l'arc par unité de temps est proportionnelle à la résistance de cet arc. D'autre part, si l'on suppose le milieu de l'arc immobile dans l'espace, la température de deux points donnés situés à une petite distance de cet arc augmente lorsque l'arc s'allonge et diminue lorsqu'il se raccourcit, et cela pour une double cause : 1° parce que la quantité de chaleur produite augmente avec l'allongement de l'arc, comme nous venons de le dire ; 2° parce que l'allongement de l'arc rapproche les pointes de charbon des deux points considérés. Le raccourcissement de l'arc produit naturellement l'effet inverse, pour les deux mêmes causes inverses. C'est sur ce phénomène qu'est basée la nouvelle lampe électrique de

M. Solignac, et la simplicité des moyens mis en œuvre pour l'utiliser ne constitue pas le moindre mérite du système.

L'appareil comprend deux charbons cylindriques disposés horizontalement et constamment sollicités à se rapprocher par l'action de deux cordelettes tendues par deux ressorts à barillet indépendants qui les poussent par l'arrière. A la partie inférieure de chaque charbon est fixée une petite baguette de verre disposée suivant une génératrice et occupant toute la longueur du charbon. L'extrémité de la baguette de verre placée du côté de la pointe vient butter contre un arrêt en nickel qui maintient les charbons en place et les empêche de se toucher.

Dans la position d'équilibre, l'arc a sa longueur normale : par l'usure des charbons, l'arc tend à s'allonger et à se rapprocher des buttoirs en nickel. La température s'élève de plus en plus dans le voisinage de ces buttoirs, elle s'élève assez pour ramollir le verre et l'obliger à se recourber en A, comme on le voit figure 70.

La pression exercée sur les extrémités des charbons tend donc à les rapprocher, l'arc se raccourcit, s'éloigne des buttoirs, le verre cesse de se ramollir et de céder. En pratique, le réglage que nous avons supposé se produire par intervalles a lieu d'une manière continue ; l'usure des charbons est régulière, de même que le ramollissement des baguettes de verre, et la progression des charbons continue, aussi la lumière est-elle remarquablement fixe, et il ne s'y produit aucune de ces vacillations qui caractérisent la plupart des régulateurs fondés sur les variations de l'intensité du courant. Cette simple disposition permet d'obtenir une parfaite fixité du point lumineux dans l'espace, car le fonctionnement même du système équilibre à chaque instant les déplacements qui tendent à se produire dans un sens ou dans l'autre, par suite d'une différence dans la rapidité de combustion des charbons, quelle que soit la cause qui la produise. Au fur et à mesure de l'usure des charbons, les baguettes de verre se roulent sur elles-mêmes en spirale, mais elles ne se brisent jamais.

Pour l'avancement, la partie inférieure de la baguette de verre glisse sur un petit plan, tandis que la partie supérieure du charbon glisse contre un galet nickelé, maintenu avec une pression suffisante pour assurer un bon contact, car c'est par ce galet que le courant arrive au charbon. La pression du galet sur le charbon se règle à l'aide d'un ressort et d'une vis qui permet d'en graduer la tension (fig. 70). La longueur de charbon traversée par le courant est donc toujours la même, quelle que soit

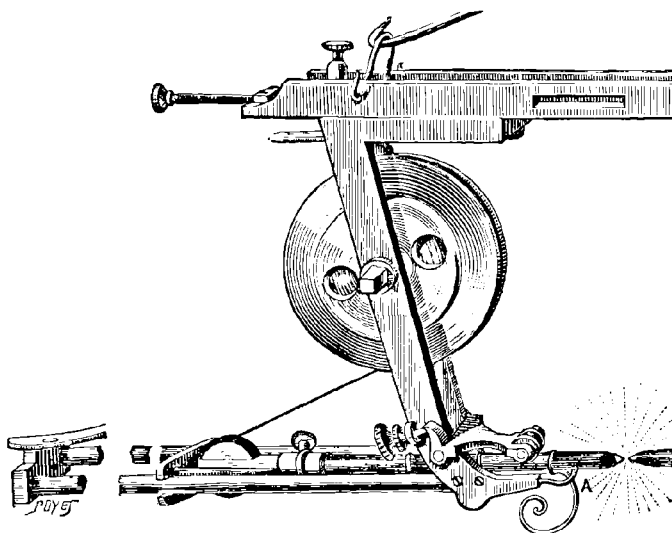


Fig. 70. — Détail du mécanisme régulateur (charbon de gauche).

la période de la combustion, ce qui assure une économie et un régime plus régulier de la machine. On règle la longueur de l'arc en rapprochant ou en éloignant plus ou moins les deux porte-charbons à l'aide d'une vis de rappel placée à la partie supérieure. Cette vis sert en même temps à l'allumage et au réglage de la longueur de l'arc, suivant la nature des courants dont on fait usage et le nombre de lampes intercalées dans le circuit. On peut voir facilement sur la figure 70 comment le mouvement des barilletts produit le rapprochement des charbons en enroulant la corde qui tend à se raccourcir, et pousse chacun des

charbons vers le centre de la lampe. L'indépendance des barillets assure l'indépendance complète de l'avancement des charbons, et par suite une progression proportionnelle, pour chacun d'eux, à leur usure. Les baguettes de verre de forme méplate sont fixées très simplement contre le charbon, à l'aide de quelques anneaux de fil qui brûlent à mesure qu'ils s'approchent de l'arc.

Nous arrêterons là notre examen des régulateurs électriques, car il faudrait plusieurs volumes pour les passer tous en revue.

Il est peu d'inventions dans lesquelles il ait été dépensé autant d'ingéniosité que dans les régulateurs électriques.

Tous les régulateurs que nous avons examinés fonctionnent ou tout au moins peuvent fonctionner soit avec des courants continus, soit avec des courants alternatifs. Dans l'application cependant, l'emploi de l'une ou de l'autre nature de courants entraîne quelques modifications de détail dans la forme des appareils, le fil des électro-aimants, etc., sans changer le principe. Il nous reste maintenant à examiner une classe d'appareils dans lesquels on fait usage exclusivement des courants alternatifs : ce sont les *bougies* électriques.

CHAPITRE II

LES BOUGIES ÉLECTRIQUES

On donne le nom de *bougie électrique* à tout appareil à arc voltaïque dans lequel les charbons sont placés *parallèlement*, au lieu d'être mis bout à bout.

En 1846, *William-Edwards Staite* combina un appareil dans lequel les deux charbons étaient placés obliquement (appareil de transition entre le régulateur et la bougie). En 1874, *Werdermann* fit breveter une sorte de bougie électrique destinée à percer le rocher dans les travaux de mine et les tunnels, mais qui n'était pas destinée à produire la lumière électrique.

Mais la véritable bougie électrique, celle qui, par l'absence complète de mécanisme et son extrême simplicité, a obtenu le succès que l'on sait, est due à un officier de l'armée russe, *M. Jablochhoff*, et date de 1876.

Bougie Jablochhoff. — Voici d'abord un extrait du brevet qui caractérise nettement l'invention de *M. Jablochhoff*.

« Mon invention consiste dans la suppression absolue de tout
« mécanisme ordinairement employé dans les lampes électriques.
« Au lieu de réaliser mécaniquement le rapprochement auto-
« matique des charbons, au fur et à mesure de leur combustion,
« je fixe ces charbons l'un contre l'autre en les séparant par une
« substance isolante, susceptible de se consumer en même temps
« que lesdits charbons, le kaolin par exemple. Les deux char-

« bons ainsi préparés peuvent se placer dans un chandelier spécial, et il suffit de les faire traverser par le courant d'une source électrique quelconque, pour qu'un arc voltaïque prenne

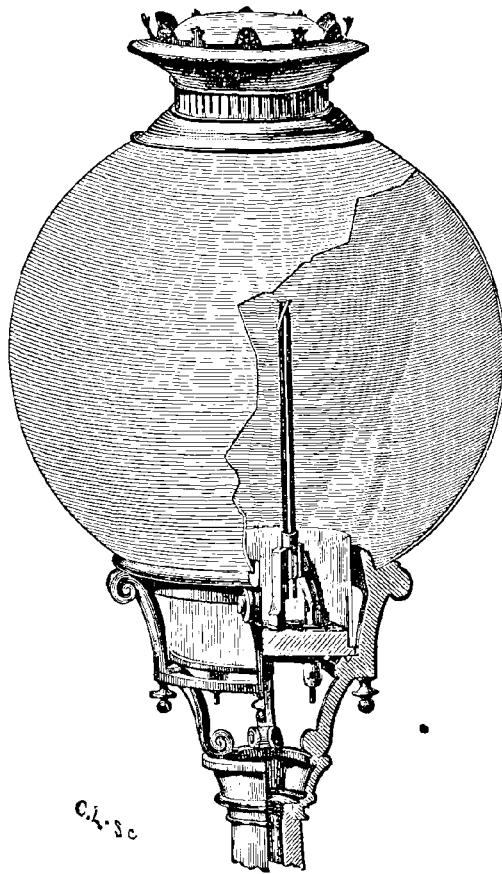


Fig. 71. — Bougie Jablochhoff. (Modèle ordinaire.)

« naissance d'une extrémité à l'autre ; pour l'allumage, je réunis
« les deux extrémités libres par une petite bande de charbon
« qui rougit d'abord, et sert d'amorce à l'arc voltaïque. »

Il en résulte que les charbons brûlent côte à côte et s'usent en même temps, comme la mèche d'une bougie stéarique.

La matière isolante a pour but de maintenir l'arc à l'extrémité de la bougie, cette matière isolante se volatilissant à mesure de la combustion du charbon.

On sait que, dans l'arc voltaïque, le charbon positif brûle deux fois plus vite que le pôle négatif. M. Jablochhoff a essayé de remédier à cet inconvénient, qui produirait rapidement l'extinction, à cause de la dénivellation des pointes, en donnant au crayon positif une section double de celle du crayon négatif, mais la pratique n'a pas sanctionné cette méthode : aujourd'hui toutes les bougies Jablochhoff ont leurs deux charbons d'égal diamètre et sont alimentées *exclusivement* par des machines à courants alternatifs.

La figure 71 représente la bougie Jablochhoff sous sa forme actuelle : les deux crayons parallèles ont un diamètre de 4 millimètres et 25 centimètres de longueur, ce qui assure aux bougies une durée moyenne de deux heures. Les charbons sont emmanchés, à leur partie inférieure, dans deux petits tu-

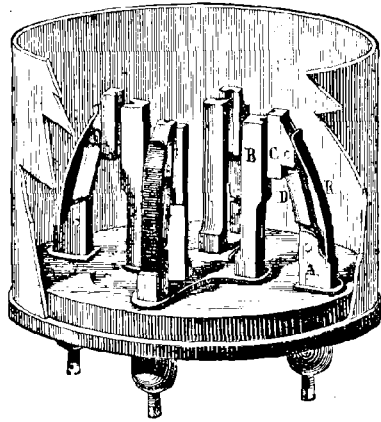


Fig. 72. — Chandelier à quatre bougies.

tubes de laiton de 5 centimètres de longueur séparés par une matière isolante. Ces bougies sont disposées au nombre de quatre dans un globe diffusant adoucissant la lumière et lui donnant l'aspect d'une grande masse lumineuse, sans que l'œil puisse voir le point précis d'où part la lumière. On emploie aussi le *verre craquelé*, qui est moins diffusant, mais qui absorbe une moins grande quantité de lumière, et le *verre strié*.

Les quatre bougies sont disposées aux quatre angles d'un carré dans des pinces à ressort B, C (fig. 72) dont les branches isolées sont reliées aux conducteurs électriques.

Un commutateur placé à portée de la main et renfermé dans

une boîte, à l'abri des indiscretions des passants, sert à faire passer le courant d'une bougie presque consumée dans une bougie neuve. Lorsque le globe renferme quatre bougies, il suffit de cinq conducteurs dont les quatre premiers sont reliés chacun à une bougie et le cinquième forme le fil de retour commun.

Par un mouvement rapide du commutateur, on passe d'une bougie à l'autre sans que l'interruption momentanée du circuit trouble d'une manière appréciable la lumière des autres bougies du même circuit.

Les deux charbons étant isolés, il est indispensable, pour l'allumage, qu'il y ait une communication préalable pendant quelques instants des deux pointes de la bougie.

Au début, M. Jablochhoff allumait directement sa bougie en appuyant sur les deux extrémités un morceau de charbon qu'il enlevait ensuite lorsque l'arc était formé.

Pour pouvoir allumer à distance, M. Jablochhoff a mis d'abord entre les deux charbons un morceau de mine de crayon, maintenue par un petit ruban ou un papier, qui établit un circuit conducteur complet.

Lorsque le courant est envoyé dans la bougie, la petite mine de crayon est chauffée, rougit et se consume ; l'arc voltaïque apparaît alors et se maintient tant que la bougie dure et que le courant électrique est assez puissant. On peut remplacer la mine de crayon par un fil métallique fin ou un morceau de plomb. Aujourd'hui, on réalise l'amorçage à l'aide d'une pâte de composition spéciale, à base de charbon, qui produit le même effet. Par ce moyen, on peut utiliser les bougies à moitié brûlées en les réamorçant.

Dans certaines applications, pour économiser les conducteurs, M. Gadot dispose toutes les bougies d'un chandelier en dérivation. En envoyant le courant dans l'appareil, c'est la bougie la moins résistante qui s'allume la première, et qui continue ensuite à brûler. Si la bougie se casse ou brûle jusqu'au bout, elle s'éteint et le courant rallume celle des bougies restantes ayant la moins grande résistance, et ainsi de suite.

L'augmentation de la conductibilité de l'isolant produite par la chaleur est si grande qu'on peut interrompre le circuit d'une bougie bien allumée pendant près de deux secondes, sans provoquer son extinction ni celle des autres bougies placées dans le même circuit. Au delà d'un certain temps, le refroidissement supprime la conductibilité et le rallumage devient impossible à distance ; la bougie nécessite un réamorçage.

Les bougies Jablochhoff ont reçu un grand nombre d'applications, nous en examinerons quelques-unes chapitre IV.

Jusqu'à présent la bougie Jablochhoff est celui de tous les systèmes d'éclairage électrique *à arc* qui compte le plus grand nombre de foyers lumineux en fonction. Ce nombre dépasse aujourd'hui 5000, et nul doute qu'avec les perfectionnements successifs qui lui sont apportés, l'abaissement très sensible du prix des machines et des bougies, il ne reçoive encore un plus grand développement.

Les seuls reproches qu'on puisse adresser à la bougie Jablochhoff sont ses changements incessants de coloration et d'éclat, et l'impossibilité de produire un rallumage automatique. En perfectionnant la fabrication, on arrivera à atténuer le premier défaut, mais nous doutons qu'on arrive jamais à le faire complètement disparaître.

Bougie Wilde. — Nous avons vu que la bougie Jablochhoff emploie une substance isolante placée entre les deux charbons qui la composent. Dans les bougies que nous allons examiner maintenant, la matière isolante fait complètement défaut.

La bougie *Wilde* (fig. 73) se compose de deux charbons parallèles de 4 millimètres de diamètre séparés par un intervalle *vide* de 3,5 millimètres environ. Chaque charbon est fixé dans son support à l'aide d'une pince à ressort en acier plat B courbée en forme d'U (fig. 74) : à l'extrémité du ressort est fixé un galet D qui maintient le charbon en l'appuyant contre le support M, tout en lui permettant de glisser de bas en haut.

Le charbon de droite est fixe, le support du charbon de gauche C est articulé en A ; si le courant ne traverse pas l'appareil,

le charbon de gauche prend la position représentée en pointillé, le circuit se trouve donc fermé par l'électro-aimant E, les deux charbons et la borne fixée sur le support de droite, mais alors l'électro-aimant devient actif, il rappelle son armature faisant

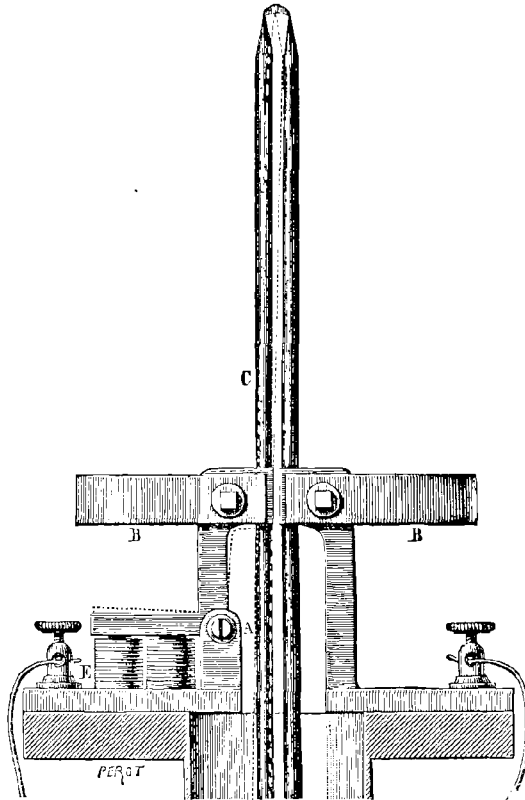


Fig. 73. — Bougie Wilde (demi-grandeur).

C. Charbon mobile. — A. Axe de rotation du support du charbon mobile. — B. Ressort des galets.
E. Electro-aimant.

corps avec le support du charbon C qui bascule et les charbons se placent alors dans une position parallèle. Cette simple disposition réalise parfaitement l'*allumage automatique*.

Si, pour une cause quelconque, la bougie s'éteint, l'électro-aimant redevient inactif, le charbon C reprend sa position incli-

née et produit le *rallumage* automatique si le circuit est complet dans toutes les autres parties du système. La bougie Wilde brûle ainsi comme une bougie Jablochhoff sans isolant, à 80 becs Carcel.

Les charbons ayant une longueur de 65 centimètres représentent environ cinq heures d'éclairage, le point lumineux est, au moment de l'allumage des charbons neufs, à 20 centimètres environ des supports. Au bout d'une heure et demie environ, l'arc s'est abaissé en C par l'usure de la bougie, il suffit de venir soulever une petite rondelle placée à l'intérieur du tube à l'aide d'un bouton placé sur le côté, les charbons poussés de bas en haut glissent dans leurs supports, grâce aux galets D (fig. 74), et la bougie se trouve allongée d'une nouvelle quantité. Cette manœuvre se fait très rapidement sans produire l'extinction de la

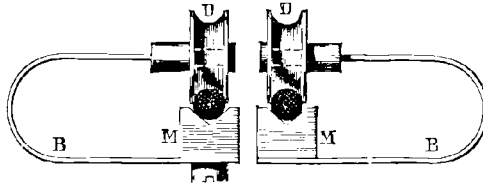


Fig. 74. — Plan des pinces à galets de la bougie Wilde.

M. Coins fixes. — D. Galets de cuivre. — B. Ressorts.

bougie, et ressemble beaucoup à celle des chandeliers de cuisine dont on élève plus ou moins le point lumineux en agissant sur un petit bouton de cuivre placé sur le chandelier.

La bougie peut être *renversée*, et brûle aussi bien que dans sa position naturelle, l'usure des charbons est alors un peu augmentée dans cette seconde position. Si l'arc s'éteint, le système de M. Wilde produit un rallumage automatique; l'extinction ne dure alors qu'un temps inappréciable.

Bougie de M. Jamin. — Dans le dernier modèle de cette bougie, nous retrouvons le rallumage de la bougie Wilde *identiquement* reproduit. L'électro-aimant G (fig. 75) sert à produire l'écart des charbons en attirant une petite armature EF au moment du passage du courant; cette armature EF, par une combinaison de leviers ED, DC, écarte le charbon de gauche de chaque

bougie A, A', A". L'arc se développe d'abord sur les trois bougies et, après quelques hésitations, se fixe sur celle des bougies qui offre la plus petite résistance. Lorsqu'une des bougies est consumée, l'arc vient brûler un petit crochet de laiton B placé à la partie supérieure; alors, sous l'action du ressort R, le support

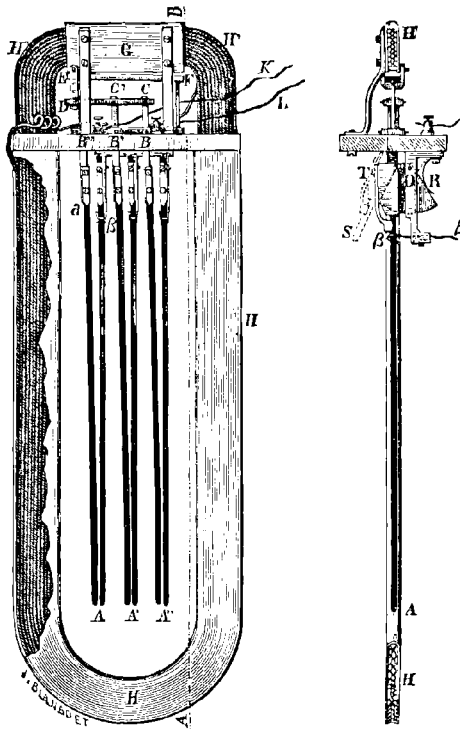


Fig. 75. — Bougie Jaminin (modèle 1880).

des charbons prend la position OS, l'arc est rompu, les charbons retombent et l'allumage d'une nouvelle bougie se reproduit automatiquement. Il faut donc que les charbons soient d'une fabrication très soignée et parfaitement ajustés pour que les trois bougies puissent ainsi fonctionner chacune à leur tour et brûler jusqu'au bout sans accident.

Il y a dans le mécanisme de la bougie Jaminin tous les inconvé-

nients d'un régulateur sans les avantages correspondants, car il est impossible, avec ce système, de bien régler la résistance propre de chaque appareil pour qu'il dépense bien régulièrement le courant qui lui est fourni.

Au moment où l'arc s'allonge, il consomme plus d'énergie électrique au détriment des autres lampes, l'inverse se produit lorsque l'arc se raccourcit; ces changements dans la résistance se traduisent aussi par des différences dans l'intensité lumineuse. La bougie Wilde partage cet inconvénient avec la bougie Jamin; dans la bougie Jablochhoff, le colombin maintient le parallélisme des charbons et compense *en partie* ces défauts, compensation achetée, il est vrai, au prix de changements notables dans la coloration de la lumière, par suite de la présence du colombin. Dans une bougie électrique, quelle qu'elle soit, il faut donc payer la *simplicité* en faisant des sacrifices sur les *qualités* de la lumière, fixité ou coloration.

Pour maintenir l'arc à l'extrémité des charbons, M. Jamin emploie un cadre directeur formé de quarante spires. Les lois des actions mutuelles des courants rendent compte de l'effet produit par ce cadre directeur.

Bougie Debrun. — La bougie de M. *Debrun*, à rallumage automatique, se compose de deux crayons de charbon Carré de 6 millimètres de diamètre et de 20 à 30 centimètres de longueur, disposés parallèlement à une distance de 2 à 3 millimètres, et dont le parallélisme est assuré par une petite plaque de verre placée à la base entre les deux charbons. L'ensemble est assujéti par du papier verni isolant et deux ligatures en fil de fer. Voilà la bougie constituée très simplement, comme on le voit, et le parallélisme des charbons très suffisamment maintenu.

La bougie se plante dans un chandelier spécial qui, pour les éclairages de durée, peut en recevoir deux, qui s'allument successivement et automatiquement.

Toutes les bougies électriques présentent deux inconvénients très graves qui les rendent inférieures aux régulateurs. Le premier est le bruit produit par les courants alternatifs qu'on est

obligé d'employer pour user également les deux charbons; le second résulte de la position même des charbons et de leur écart fixe. L'arc jaillit entre les pointes, une partie de la lumière se trouve ainsi noyée; l'absence de tout réglage dans la distance des charbons empêche de proportionner à chaque instant leur écart à l'intensité du courant qui les traverse, ce qui explique le peu de fixité de la lumière de toutes les bougies.

A mesure que les régulateurs se perfectionnent et se simplifient, les bougies électriques perdent de leur importance pratique, sous réserve, bien entendu, de la bougie Jablochkoff dont on n'égalera jamais l'extrême simplicité.

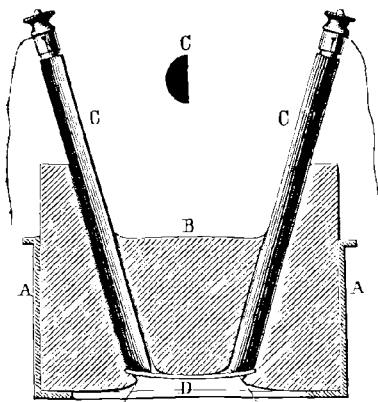


Fig. 76. — Diagramme explicatif de la lampe-soleil.

Lampe-soleil. — La lampe-soleil imaginée par MM. Clerc et Bureau est un appareil intermédiaire entre la bougie Jablochkoff et les lampes à incandescence que nous examinerons dans le chapitre suivant. Aussi, bien que sa forme ne rappelle que très vaguement une bougie, est-il logique de l'examiner ici, pour ne pas ouvrir un chapitre spécial à une classe d'appareils dont on ne compte encore qu'un seul représentant.

Les figures 76 et 77 font comprendre ses dispositions.

Deux charbons C, C légèrement inclinés sur la verticale sont logés entre une pièce centrale B de marbre blanc ou de magnésie agglomérée et des pièces extérieures de pierre quelconque; ils descendent par leur propre poids à mesure de l'usure de leur partie inférieure, et ils sont retenus par une petite saillie ou épaulement qu'on voit sur la pierre extérieure. Tout cet ensemble est maintenu par une boîte de fonte AA, très largement ouverte à la partie inférieure. Cette boîte est suspendue par un grand étrier auquel aboutissent les fils conducteurs.

Le courant est amené à la partie supérieure de l'un et de l'autre par des fils. Avant l'allumage, les deux charbons appuient sur une petite baguette fine de charbon D, qui, par le passage du courant, s'échauffe, se consume rapidement et prépare la produc-

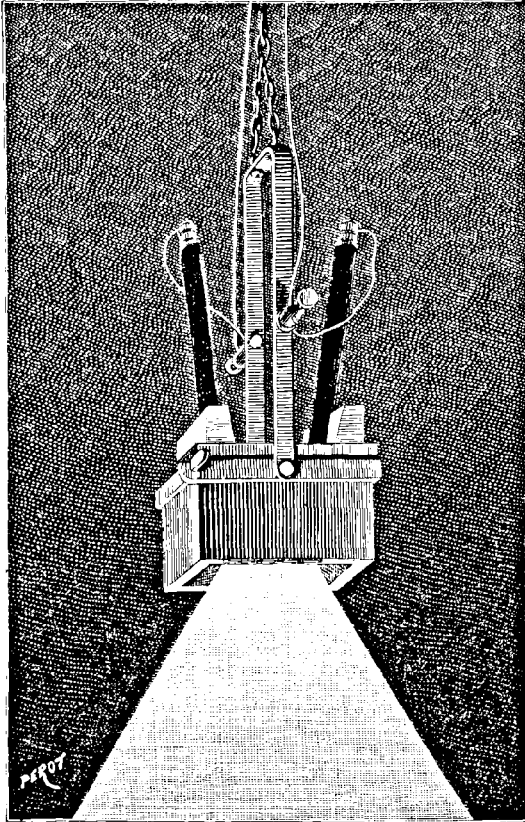


Fig. 77. — Vue d'ensemble de la lampe-soleil.

tion de l'arc voltaïque, comme le fait l'amorce des bougies Jablochhoff.

Une fois l'arc établi, il se maintient malgré la grande distance entre les bouts des charbons, parce que la surface du marbre ou de la magnésie, qui est entre les deux, a eu le temps de devenir

conductrice par échauffement, pendant la période préparatoire de l'allumage.

Cet arc de grande longueur, léchant le marbre, produit une lumière intense, de couleur dorée particulière.

La lampe-soleil dirige toute sa lumière vers le bas, c'est-à-dire du côté qu'on veut généralement éclairer ; mais la suppression totale de lumière dirigée vers le haut laisse les plafonds dans une obscurité qui, parfois, est d'un effet peu agréable. D'autre part, les diverses pièces qui entourent le marbre dans sa partie lumineuse portent ombre et ne donnent au faisceau éclairant qu'un développement assez limité, moins limité cependant que ne l'indique la figure 76.

La lumière mesurée dans la verticale, c'est-à-dire dans la direction d'intensité maxima, a été, dans un cas particulier, de 120 becs Carcel par lampe correspondant à 1 1/4 cheval-vapeur, c'est-à-dire à peu près 100 becs par cheval.

Dans une autre série d'expériences, on a trouvé que le rendement varie de 50 carcels par cheval avec une intensité de 5 ampères à 110 et 125 avec 15 à 20 ampères. D'ailleurs l'intensité lumineuse peut varier de 50 à 1000 carcels, suivant la distance des charbons, la longueur du marbre, et l'intensité du courant.

Un défaut sensible des éclairages à courants alternatifs s'est retrouvé dans ce système ; nous voulons parler de bruit ou ronflement que fait entendre la lampe. On est parvenu à étouffer à peu près ce bruit au moyen de lanternes absolument closes.

Le point lumineux dans la lampe de M. Clerc est absolument fixe, ce qui est bien un avantage ; mais une autre qualité beaucoup plus importante est la fixité absolue de la lumière.

Enfin le mérite principal de la lampe-soleil est dans sa longue durée, c'est-à-dire dans le temps considérable pendant lequel elle peut fonctionner sans arrêt, sans renouvellement de charbon et sans soin, car l'usure des charbons varie de 8 à 15 millimètres par heure suivant l'intensité du courant, qui peut varier de 3 à 25 ampères. La longueur des charbons elle-même peut être variée

de 5 à 30 centimètres, et la lampe peut fonctionner quinze ou seize heures consécutives, si cela est nécessaire.

Le bloc de marbre entre les deux charbons s'use également; la température très élevée à laquelle sa partie inférieure est exposée entraîne une décomposition du carbonate de chaux, et c'est la chaux qui est incandescente.

Un bloc de marbre peut durer jusqu'à vingt heures de suite ou fournir deux éclairages de dix heures; la durée totale est moindre s'il sert à des éclairages de deux ou trois heures.

La longueur de l'arc peut varier de 10 à 60 millimètres, suivant la résistance qu'on veut lui donner. Dans un court circuit on emploie une plus grande intensité et un marbre peu épais. Dans un long circuit, on emploiera plus de tension, une moindre intensité et un marbre plus épais. Les lampes les plus employées dans la pratique ont de 10 à 20 millimètres d'épaisseur de marbre ou de magnésic. Depuis quelque temps, on substitue au marbre de la magnésie agglomérée. Sa durée, beaucoup plus grande, a été jusqu'à cent heures.

CHAPITRE III

L'ÉCLAIRAGE PAR INCANDESCENCE.

Dans tous les appareils que nous avons examinés jusqu'ici, la lumière est produite par l'arc voltaïque, ce qui suppose un intervalle matériel plus ou moins long entre les deux conducteurs ; cet espace est occupé par des gaz élevés à une très haute température et les particules de carbone détachées des électrodes. Dans les systèmes que nous allons maintenant passer en revue, la lumière est produite par l'incandescence d'un corps *solide* élevé à une très haute température par le passage d'un courant électrique.

Dans l'éclairage électrique par incandescence, il faut distinguer deux grandes classes fondées sur des principes différents :

1° *L'incandescence avec combustion*, systèmes Reynier, Werdermann, etc. : la lumière est produite par un crayon de charbon traversé par le courant et qui se *consume* plus ou moins lentement ;

2° *L'incandescence pure*, dans laquelle le courant électrique traverse une substance relativement peu conductrice et l'échauffe jusqu'à la rendre lumineuse, mais sans détruire sa nature, ou tout au moins en ne la désorganisant qu'à la longue.

Dans ces appareils on emploie tantôt un filament de charbon, tantôt un métal peu fusible tel que le platine, le platine iridié et l'iridium.

LAMPES ÉLECTRIQUES A INCANDESCENCE AVEC COMBUSTION.

Lampe Reynier. — La première lampe à incandescence pure remonte à 1841 et est due à *de Moleyns*, mais c'est M. Émile Reynier qui a, en 1877, construit la première lampe électrique à combustion fondée sur l'incandescence d'un crayon de charbon traversé par un courant électrique. M. Reynier fut amené à combiner sa lampe en faisant des expériences avec les lampes

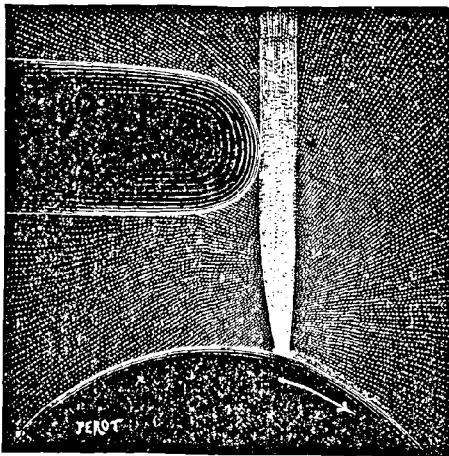


Fig. 78. — Image agrandie du crayon d'une lampe électrique à incandescence.
(Système Reynier.)

russes dont nous parlerons plus loin, à propos de l'incandescence pure. Ces lampes présentaient toutes un défaut capital : l'amincissement du charbon en son milieu, amincissement produisant la rupture et obligeant à substituer un charbon neuf au charbon mis hors de service. M. Reynier fut conduit à penser que si le crayon touchait par son extrémité un charbon massif, l'usure se produirait au point de contact imparfait, là où la température est la plus élevée, à cause de la résistance électrique due à ce contact imparfait.

En produisant l'usure du charbon par son extrémité, on pou-

vait laisser brûler le charbon à la condition de le pousser, comme on pousse les bougies dans les lanternes de voiture ; la combustion du charbon augmentait même la lumière, en contribuant, par la chaleur qu'il produit, au maintien d'une température élevée.

L'appareil de M. Reynier est donc caractérisé dans son principe par un crayon de charbon poussé contre un contact fixe (fig. 78), et rendu incandescent, entre ce buttoir et un point de contact placé à quelque distance du premier. A cause de ce fait, on nomme aussi quelquefois les lampes à incandescence avec combustion, *lampes à contact imparfait*.

Les lampes Reynier présentent une certaine élasticité au point de vue de l'intensité lumineuse, car suivant la puissance du courant qui les traverse et la grosseur des charbons, elles peuvent fournir une lumière variant de quatre à quarante becs Carcel.

Lampe Reynier, modèle 1879. — Dans cette dernière disposition de la lampe à incandescence de M. Reynier, le charbon C (fig. 79), poussé dans le sens de la flèche par un mécanisme quelconque, butte sur le contact en bout B ; le contact latéral L, monté à l'extrémité d'un levier, s'appuie sur le charbon par le tirage d'un ressort *r* et limite entre *i* et *j* l'incandescence de la baguette.

Le contact en bout B est monté dans un porte-contact fixé à baïonnette dans la douille inférieure du bec. Pour introduire le charbon dans la lampe, on retire ce porte-contact, qui laisse libre l'orifice du tube ; on pousse le charbon dans ce tube, puis on remet en place le contact en bout, et l'appareil est prêt à fonctionner.

L'incandescence, avons-nous dit, se manifeste en *i* et *j* sur une longueur qu'on peut faire varier entre 4 et 8 millimètres.

Étant donné le bec, il était aisé de l'adapter à des lampes de formes diverses. M. Reynier a fait des appareils marchant de haut en bas par l'action d'un contre-poids ou d'une poussée hydrostatique, un modèle à barillet fonctionnant dans toutes les posi-

tions, et un appareil suspendu, le plus simple de tous : c'est celui que nous représentons figure 79.

Ici la progression du charbon est obtenue par la descente du cylindre *p*, qui pèse directement sur la tête du charbon.

Lorsqu'on monte plusieurs lampes en tension, il faut éviter qu'un accident arrivé à une lampe ne fasse éteindre toutes les

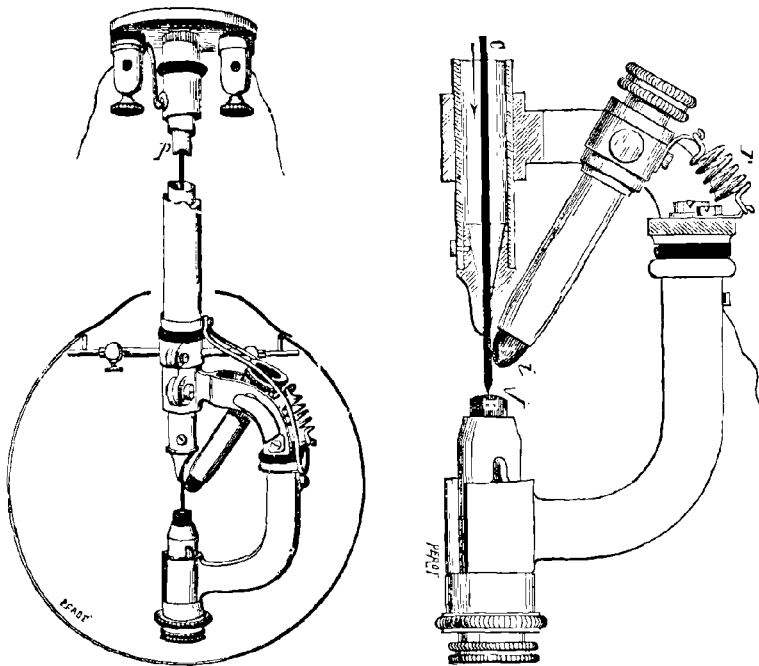


Fig. 79. — Lampe Reynier (modèle 1879).

autres lampes disposées sur le même circuit. A cet effet, M. Reynier a mis à profit les propriétés des accumulateurs. Il établit en dérivation sur chaque lampe un nombre déterminé d'accumulateurs, trois par exemple. En marche normale, en vertu de la force contre-électro motrice des accumulateurs, il ne passe pas de courant dans leur circuit. Si la lampe s'éteint, le courant traverse la dérivation tout naturellement, sans aucun mécanisme, les accumulateurs fonctionnent comme une résis-

tance équivalente et ne troublent pas le régime général de la circulation électrique.

Lampe de Werdermann. — La lampe de Werdermann reproduit certaines dispositions de la lampe Reynier, mais le point le plus caractéristique consiste dans le renversement de

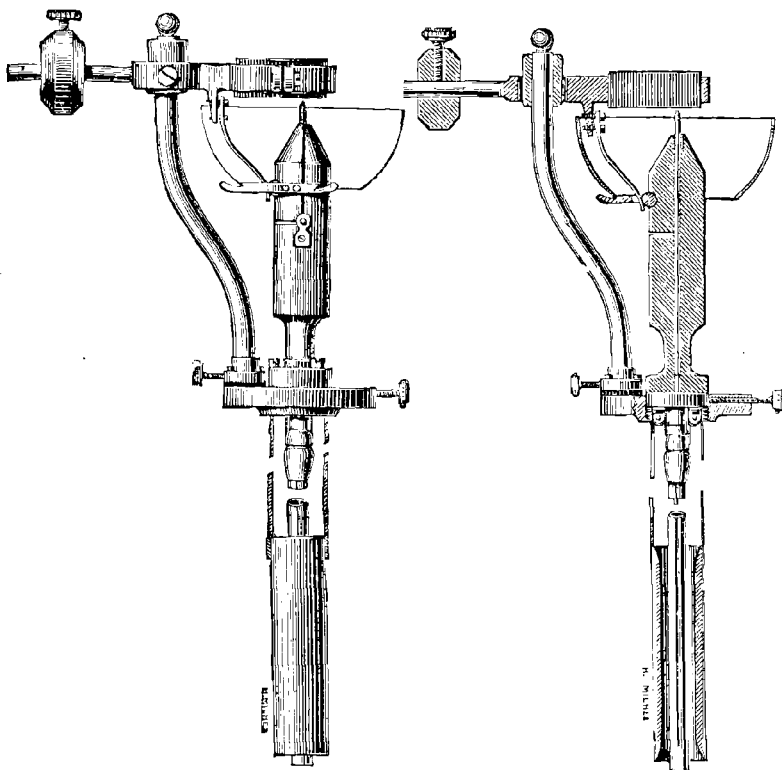


Fig. 80. — Lampe Werdermann. Élévation et coupe.

l'appareil. Dans le premier modèle, breveté quelques mois après le système Reynier, le charbon négatif, placé à la partie supérieure, est constitué par un disque de charbon de grande section, le charbon positif étant un crayon de quelques millimètres de diamètre (quatre millimètres et demi dans le dernier modèle).

Un simple ressort assure la permanence du contact du crayon

avec l'électrode positive : le charbon est poussé par un poids au fur et à mesure de son usure.

Dans ses nouvelles lampes (fig. 80) l'inventeur s'est attaché à régler la pression du contact latéral sur la tige de charbon d'après la pression que cette tige exerce sur le disque supérieur.

Pour cela, le disque est placé sur un fléau équilibré par un contre-poids glissant sur une tige horizontale placée sur la gauche du point de suspension, et fixé en place par une vis. Ce fléau porte un petit bras, placé à l'intérieur du globe, qui vient exercer sur le contact latéral une pression d'autant plus grande que la pression de ce charbon vertical est elle-même plus grande; cette pression s'oppose au mouvement ascensionnel de la tige de charbon en la coinçant entre deux mâchoires, l'une fixe et l'autre mobile. Ce système forme donc un frein dont l'équilibre dépend du réglage primitif du contre-poids. A mesure que le charbon s'use, la pression sur le disque diminue, le contact latéral se desserre un peu et permet le mouvement ascendant de la tige de charbon.

Lampe Werdermann-Napoli. — Dans le dispositif que nous venons de décrire, les deux mâchoires de l'étau qui constitue le frein s'usent avec le temps à cause du frottement perpétuel du charbon et surtout de la température à laquelle elles se trouvent soumises. Ses bords extérieurs finissent alors par se rejoindre, le charbon ne se trouve plus en contact direct avec les mâchoires, le frein n'agit plus, et il peut s'établir un arc voltaïque entre un point du charbon et l'une des mâchoires, ce qui mettrait bientôt l'appareil hors de service.

Cet inconvénient a été écarté par plusieurs dispositions ingénieuses dues à M. Napoli. Dans l'une d'elles, les mâchoires sont remplacées par deux galets métalliques dont la tranche est moins épaisse que le diamètre du charbon. Quelle que soit leur usure, ils ne pourront donc jamais se trouver en contact. Le serrage opéré par les galets est encore réglé par la butée du charbon. Dans une autre disposition, où le charbon est descendant, — comme dans la lampe Reynier, — le serrage des

mâchoires, formées par deux minces secteurs, est indépendant de la pression du crayon contre la butée. Le poids qui provoque la descente des charbons n'agit que par l'intermédiaire d'un ressort. Il est aussi garni d'une série de rainures circulaires qui l'empêchent de descendre trop rapidement et forment piston d'air, comme dans la machine pneumatique de M. Deleuil. Le buttoir du crayon de charbon est en cuivre rouge.

LAMPES A INCANDESCENCE PURE.

Les lampes à incandescence pure sont fondées sur le principe de l'élévation de température d'un corps médiocrement conducteur et peu fusible, traversé par un courant électrique.

La lumière émise par un corps chauffé augmentant dans de très grandes proportions avec la température, le problème consiste à trouver un corps peu fusible pour pouvoir porter très haut sa température : il faut aussi concentrer la chaleur sur un très petit espace pour éviter le refroidissement si préjudiciable à la quantité de lumière produite.

Les corps employés pour reproduire la lumière par incandescence sont : le platine, le platine iridié, l'iridium et le charbon.

La première lampe à incandescence de platine date de 1841 et est due à un Anglais, *Frederick de Moleyns*, de Cheltenham.

L'idée d'employer l'iridium et ses alliages est due à *Pétrie* en 1849. Dans son brevet, *Pétrie* donne la méthode de préparation de l'iridium destiné à ses lampes électriques.

L'idée d'employer du charbon pour produire l'incandescence appartient à *King*, qui la fit breveter en 1845. D'après M. Giffard, *King* était simplement l'agent du véritable inventeur, *J.-W. Starr*, de Cincinnati.

King signalait dans son brevet les avantages du charbon de cornue, mais pour empêcher sa combustion, il le plaçait dans un vase clos où l'on faisait le vide ; deux ou plusieurs appareils semblables pouvaient être mis dans le même circuit d'un courant

fourni, soit par des piles, soit par des machines magnéto-électriques.

En 1846, *Greener* et *Staitte* firent aussi breveter une lampe analogue à celle de King; pour débarrasser le charbon de ses impuretés, on le traitait par l'eau régale.

L'idée de l'éclairage par incandescence tomba ensuite dans l'oubli jusqu'en 1873. Un physicien russe, M. *Lodyguine*, reprit l'étude de la question, ce qui lui valut un prix de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg en 1874.

Les avantages présentés par le charbon furent alors précisés fort nettement par Wild, chargé du rapport qui fit décerner le prix. « Le charbon possède, à température égale, un pouvoir « rayonnant plus grand que le platine; la capacité calorifique « du charbon est beaucoup moindre, de telle sorte que la même « quantité de chaleur élève le crayon de charbon à une tempé- « rature plus élevée qu'il ne ferait d'un fil de platine. En outre, « la résistance électrique du charbon est environ 250 fois celle du « platine, de sorte que le crayon de charbon peut être beaucoup « plus gros, tout en élevant sa température autant que le métal. « Enfin le charbon est infusible, et sa température peut être éle- « vée sans danger de fusion. »

M. *Kosloff*, de Saint-Pétersbourg, vint en France pour exploiter le brevet Lodyguine, perfectionna un peu la lampe, mais sans aboutir à de bons résultats.

En 1875, M. *Konn* imagina une lampe analogue; en 1876, M. *Bouliquine* en construisit une autre avec un seul charbon.

En 1879 apparut la lampe américaine de M. *Sawyer*, dans laquelle le charbon incandescent est plongé dans une atmosphère d'azote ayant pour but de s'opposer à sa combustion.

Dans toutes ces lampes, bien que le charbon ne brûle pas dans le vrai sens du mot, il se produit néanmoins une sorte de désagrégation, d'évaporation, qui continue à ruiner lentement les baguettes incandescentes. Cette évaporation est d'ailleurs nettement prouvée par un dépôt pulvérulent de charbon sublimé, sous forme de nuage noirâtre, qu'on trouve sur la surface inté-

rieure des globes qui renferment les baguettes incandescentes.

Lampes à incandescence de fil de platine. — Nous avons vu page 173 que la première lampe de cette espèce avait été imaginée par de Moleyns, en 1841, et reprise par Petrie en 1849.

En 1857, M. de Changy avait imaginé un système permettant la divisibilité du courant électrique. D'après une lettre adressée par M. Jobard, directeur du *Musée industriel belge*, à l'Académie des sciences de Paris, M. de Changy avait pu produire, avec une pile de douze éléments Bunsen, douze lumières très fixes et

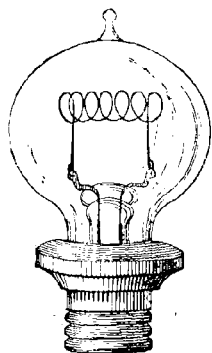


Fig. 81. — Lampe à incandescence d'Edison.

Filament en spirale.

indépendantes les unes des autres ; mais les termes du brevet sont si vagues qu'il est impossible de comprendre exactement comment l'appareil de M. de Changy fonctionnait.

En 1878, *Edison* émit les mêmes prétentions que M. de Changy en 1857. La lampe d'Edison, qui fit un certain bruit et qui apporta de grandes perturbations sur la valeur des actions du gaz en Europe et en Amérique, se composait d'une spirale en platine (1), traversée par un courant électrique. Pour empêcher la fusion du fil, une tige métallique placée à l'intérieur de la spirale et chauffée par elle venait, par sa dilatation, établir une communication directe, un court circuit entre les deux bornes de l'appareil et affaiblir momentanément le courant traversant la spirale lumineuse.

Dans la lampe de M. *Lontin*, le réglage s'opérait par la varia-

(1) La plupart des lampes à incandescence de métaux emploient des fils roulés en spirale. Le but de cette disposition est de concentrer la chaleur du courant en un petit espace pour élever la température du corps à son maximum et, par suite, lui faire émettre une grande quantité de lumière. Un fil de platine traversé par un courant d'une intensité donnée arrive à peine au rouge lorsqu'il est développé, tandis qu'il atteint le blanc lorsqu'il est roulé en spirale.

tion de l'intensité du courant, c'est-à-dire par la cause et non par l'effet.

La lampe *Maxim* à incandescence de fil de platine était analogue à celle d'Edison, le réglage s'effectuait aussi par les dilata-tions de la lame.

Aujourd'hui le platine incandescent n'est plus employé que dans les *polyscopes* de M. Trouvé.

On y a renoncé pour l'éclairage divisé, pour deux raisons : En portant le fil de platine à une haute température, pour que le rendement lumineux soit satisfaisant, on s'expose à le voir fondre si, pour une cause accidentelle, l'intensité du courant dépasse celle à laquelle le platine peut résister. Si on se tient bien en deçà de cette limite, la lumière est trop rouge, et le rendement est beaucoup trop faible : on réalise alors un véritable gaspillage d'énergie électrique, et par suite de force motrice. Aussi tous les inventeurs y ont-ils successivement renoncé pour reprendre et rendre pratiques les lampes à incandescence de charbon sans combustion déjà essayées depuis longtemps sans grand succès par King, Starr, Greener et Staite, Lodyguine, Kosloff, Konn et Bouliguine.

Lampes à incandescence de charbon. — Après l'in-succès éclatant obtenu par les lampes à fils de platine, Edison reprit, en même temps que d'autres inventeurs, l'idée de lui substituer le charbon. Après un grand nombre d'expé-riences, le succès a couronné les tentatives faites de ce côté et l'on n'est plus à compter aujourd'hui les lampes à incandes-cence de charbon qui réalisent dans des conditions suffisamment économiques la *division de la lumière*. Sans examiner ces lampes dans leur ordre historique, assez difficile à établir dans l'état actuel de la question, nous les passerons en revue en suivant l'ordre alphabétique. Les modes d'alimentation et de réglage seront étudiés dans un chapitre spécial consacré à la *division de la lumière*.

Les quatre lampes, *Edison*, *Lane-Fox*, *Maxim* et *Swan* ont un caractère commun qui nous a permis de les ranger dans la

même classe. Elles se composent d'un filament de matière organique carbonisée, de grande résistance électrique, et rendu incandescent par un courant d'une intensité relativement faible, ce qui permet de grouper les lampes le plus souvent *en dérivation*, ce qui assure leur indépendance.

Lampe Edison. — La lampe Edison, qui a subi plusieurs transformations, se compose aujourd'hui d'un filament très ténu formé par des fibres tirées de l'écorce de bambou. Ce filament a tantôt la forme d'un U allongé, tantôt celle d'une spirale. Il y a, à notre avis, avantage à employer cette forme, si la fabrication n'en est pas plus délicate, pour les mêmes raisons qu'on a de rouler en spirale les fils des lampes à platine.

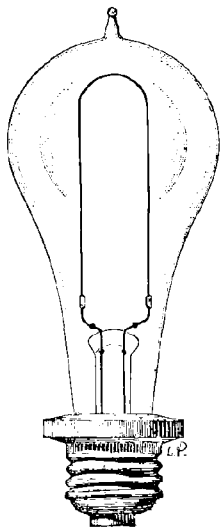


Fig. 82. — Dernier modèle de la lampe Edison.

Les lampes correspondent à deux types: le type A de 16 candles (1,6 carcel environ) et le type B de 8 candles. La résistance du premier type est de 140 ohms environ à froid, sa longueur de 12 centimètres et sa section de moins de un millimètre carré. Les extrémités sont renforcées et maintenues dans des emboîtements par des écrous ou plus simplement par galvanisation. Ces emboîtements sont reliés à des fils de platine scellés dans le globe où l'on a fait le vide à l'aide de pompes à mercure, tout en

faisant passer le courant pour éliminer tout l'air des pores du filament carbonisé.

La durée d'une lampe ainsi construite varie avec l'intensité du courant qui la traverse et l'homogénéité du filament. Elle dépasse quelquefois mille heures. On remplace une lampe par une autre en la vissant simplement sur son support.

Les manchons de cuivre qui servent à tenir les lampes dans les supports et à établir les communications sont maintenus sur le globe à l'aide de plâtre. Ces supports affectent eux-mêmes di-

verses formes qui permettent aux lampes de prendre plusieurs positions suivant les usages auxquels on les destine.

Lampe Lane-Fox. — Dans cette lampe, le filament carbonisé est du chiendent; il est aussi recourbé en forme d'U, mais son mode de fixage aux fils de platine sortant de l'ampoule est plus compliqué. Le filament est partout de même diamètre; il pénètre dans deux petits cylindres de plombagine dans lesquels pénètrent les fils de platine soudés dans une ampoule en verre.

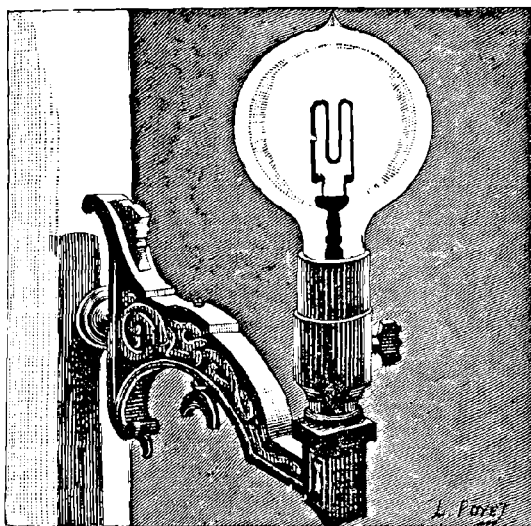


Fig. 83. — Lampe Maxim.

La liaison des fils de platine et des conducteurs du circuit s'effectue à l'aide de petites coupelles remplies de mercure. Cet ensemble constitue un joint un peu complexe et ne nous paraît pas présenter d'avantages spéciaux.

Lampe Maxim. — Le filament en forme d'M (fig. 83) est fabriqué avec du carton Bristol découpé et carbonisé. On introduit dans le globe, où l'on a fait le vide, une certaine quantité de vapeur d'hydrocarbure (*gazoline*), puis on fait le vide de nouveau en faisant passer le courant, et ainsi de suite un certain nombre de fois, jusqu'à ce que tout l'air ait disparu.

L'expérience a montré que, par le passage du courant, la vapeur raréfiée de gazoline que renferme le globe joue un rôle rénovateur en venant déposer son carbone sur les parties les plus incandescentes, c'est-à-dire les plus minces. Les filaments sont reliés aux pinces de platine à l'aide de charbon tendre qui donne un excellent contact. Les conducteurs sont scellés dans un émail spécial dont le coefficient de dilatation est à peu près le même que celui du platine, ce qui évite les craquelures et contribue à l'étanchéité. Les lampes sont disposées sur une monture en ébomite terminée par une embase en métal nickelé pouvant se visser sur les becs de gaz, à la place des becs ordinaires.

Lampe Swan. — Le filament carbonisé est ici constitué par une tresse de coton de dix centimètres de longueur renflée à ses extrémités, formant une bouche à son extrémité supérieure et fixée dans les supports à l'aide de deux porte-charbon en platine avec anneaux de serrage, comme les porte-crayon employés pour le fusain. On fait le vide dans l'ampoule en portant le charbon à l'incandescence, comme dans les autres systèmes.

Les charbons de toutes ces lampes sont assez rigides et présentent assez d'élasticité pour vibrer lorsqu'on choqe la lampe.

La puissance lumineuse varie à l'infini suivant les applications, la nature et la puissance des courants employés.

Nous verrons plus tard les qualités spéciales à la lumière produite par ces différents systèmes et leur rendement lumineux.

Après avoir décrit les machines propres à produire l'énergie électrique et les *foyers* propres à la transformer en lumière, il nous reste à passer en revue les applications qui en ont été faites et les dispositions employées pour distribuer cette lumière. C'est l'objet du chapitre suivant.

Systèmes divers d'éclairage. — Dans certains cas spéciaux, on a employé des systèmes d'éclairage électrique tout particuliers dont nous devons dire rapidement quelques mots.

M. *Gaiffe* a combiné, pour l'éclairage des mines, un système d'éclairage formé d'une bobine de Ruhmkorff et d'un tube de Geissler enveloppé d'un second tube de verre plus épais destiné

à le préserver des chocs. Le mineur porte sur son dos la pile et la bobine disposées dans un petit havre-sac ; la lampe, qu'on peut tenir à la main ou accrocher, est tenue à la main par des fils souples d'une certaine longueur. M. *Planté* a proposé, dans le même but, l'emploi de sa pile secondaire. M. *Jablochkoff* a obtenu en 1878 l'illumination de lames de kaolin avec des courants de haute tension développés dans une bobine d'induction sans trembleur par les courants alternatifs des machines de Gramme. La lumière est très fixe et très belle : elle varie, suivant la puissance de la source, entre deux et quinze becs Carcel. Ce système est donc un véritable éclairage par incandescence, mais il faut préalablement amorcer la lame, l'échauffer pour la rendre conductrice en joignant les deux électrodes qui communiquent à la lame de kaolin par un crayon de charbon de cornue. En provoquant d'abord l'étincelle en un point, le charbon rougit, transmet sa chaleur à la partie du kaolin la plus voisine, et le courant passe, d'abord sur un petit parcours, puis sur une longueur de plus en plus grande, à mesure qu'on fait glisser le charbon sur le kaolin. L'usure de la lame de kaolin est insensible et ne dépasse pas un millimètre par heure.

M. *Jablochkoff* a obtenu des résultats encore meilleurs par ce système en intercalant dans le circuit d'une machine magnéto-électrique de l'*Alliance* un condensateur et la lame de kaolin.

Il n'emploie plus alors de bobines d'induction ; ce sont les décharges successives du condensateur qui alimentent la lame de kaolin.

Quelques inventeurs ont aussi proposé l'emploi de poudres rendues incandescentes par leur passage à travers un arc voltaïque. Un Anglais, *Way*, illuminait des filets de mercure traversés par le courant ; les vapeurs mercurielles dégagées par cette lampe ont empoisonné son inventeur.

De toutes ces tentatives plus ou moins heureuses et de bien d'autres dans le détail desquelles il nous est impossible d'entrer, il ne reste plus aujourd'hui que deux méthodes générales d'éclairage électrique :

1. *L'arc voltaïque*, par les régulateurs et les bougies ;
2. *L'incandescence*, avec ou sans combustion.

Puissance et rendement des foyers électriques. — Les foyers électriques occupent aujourd'hui toute la gamme des intensités lumineuses, depuis les petites lampes à incandescence qui donnent à peine la lumière d'une bougie jusqu'aux puissants foyers de phares et de projecteurs dont la puissance dépasse 1000 becs Carcel.

Les expériences faites à l'Exposition de 1881 sur ces différents foyers nous fournissent sur les chiffres extrêmes quelques renseignements que nous croyons utile de résumer rapidement.

I. *Machines et régulateurs à courant continu.* — Les expériences montrent que toutes les machines transforment en énergie électrique, d'une manière presque parfaite, tout le travail mécanique que le moteur leur fournit utilement.

Sauf un cas exceptionnel dû à un accident, les machines transforment de 80 à 95 p. 100 : c'est tout ce qu'on peut demander à une machine quelconque.

On sait que l'énergie électrique fournie par la machine se divise en deux parties : l'une dépensée en pure perte dans la machine pour produire son échauffement, l'autre utilisable dans le circuit extérieur, et qu'on désigne souvent sous le nom de *travail disponible* ou *énergie disponible*. Dans le cas particulier, la Commission lui a donné le nom de rendement mécanique des arcs ; ce rendement a varié de 32 à 77 p. 100, et l'on constate qu'il a été plus grand dans les machines dites à *division*, alimentant plusieurs régulateurs en circuit, que dans les machines *monophotes*, c'est-à-dire celles qui fournissent le courant à un seul foyer. Ce fait, singulier en apparence, prouve que les machines à division travaillent dans de meilleures conditions de circuit que les machines monophotes : dans ces dernières, une trop grande partie de l'énergie électrique est inutilement dépensée à chauffer la machine en pure perte. Cette circonstance conduit à un fait plus curieux et plus singulier encore, mis en relief par les chiffres de la Commission, c'est que les petits foyers à arc produisent, *par cheval mécanique*, une somme de lumière *aussi grande* que les gros foyers de phare ou de projecteur.

La conclusion serait alors que la division ne coûte rien. Cela est vrai matériellement, lorsqu'on prend *en bloc* la machine et les lampes, mais lorsqu'on ne tient compte que de la dépense d'énergie électrique propre à la lampe, la supériorité des gros foyers reparaît, puisque les foyers de 1000 carcels produisent jusqu'à 129 becs par cheval d'énergie

électrique, tandis que les foyers de 49 carcel produisent seulement 70 becs par cheval.

Le nombre de becs Carcel par cheval mécanique est donc une indication précieuse pour l'industriel, mais elle englobe trop de causes diverses pour être de quelque utilité dans les comparaisons à établir entre les différents systèmes de lampes et de machines. En ce qui concerne la répartition de la lumière, les expériences montrent que l'intensité maxima, sous un angle convenable, varie entre le double et le triple de l'intensité prise horizontalement, et qu'en général c'est cette intensité horizontale qui, avec les courants continus, se rapproche le plus de l'intensité lumineuse moyenne sphérique qui suppose la lumière uniformément répartie dans toutes les directions. Ces différences d'appréciations de l'intensité lumineuse suivant les directions, jointes aux difficultés spéciales que présentent les mesures photométriques et à la variété des étalons, rendent ces mesures très variables et comparables seulement, comme dans le cas présent, pour des séries d'expériences faites par les mêmes méthodes et les mêmes expérimentateurs.

La grosseur des crayons varie actuellement avec le courant et la puissance lumineuse. Les gros foyers de phare brûlent des crayons de 20 millimètres de diamètre et marchent avec 100 et même 140 ampères, tandis que les foyers de 40 à 50 becs brûlent des crayons de 10 à 11 millimètres avec des courants de 9 à 10 ampères.

La différence de potentiel aux bornes varie très peu, quels que soient les foyers, de 45 à 55 volts. Il en résulte qu'une distribution d'électricité sous pression constante de 50 volts, par exemple, permettrait d'alimenter des foyers à arc de toute puissance, depuis 40 jusqu'à 1000 becs Carcel, en proportionnant convenablement la longueur de l'arc et le diamètre des charbons. Une seule lampe fait exception à ces conditions générales, c'est la lampe Weston qui fonctionne avec 32 volts seulement de force électromotrice, mais, par contre, avec un courant relativement intense de 23 ampères.

II. *Machines et lampes à courants alternatifs.* — Les expériences ont été assez incomplètes, puisqu'elles n'ont porté que sur trois appareils, une lampe de phare alimentée par une machine de Meritens à cinq disques, la même machine couplée différemment alimentant cinq lampes Berjot, et enfin une machine dynamo de Siemens fournissant le courant à douze lampes différentielles Siemens.

Dans ces expériences, on a constaté que la lumière produite par cheval de travail mécanique diminue avec la puissance des foyers. On obtient 80 becs Carcel avec la lampe de phare, et 33,3 becs seulement avec les lampes différentielles.

III. *Bougies électriques.* — Les expériences ont porté sur les bougies Debrun, Jablochkoff et Jamin; elles ont mis en relief la supériorité des bougies Jablochkoff sur les bougies Debrun et Jamin. Les premières fournissent en effet de 31 à 35 becs par cheval mécanique et de 45 à 51,6 becs par cheval d'énergie électrique, tandis que les bougies Jamin n'en fournissent que de 20 à 32 par cheval mécanique et de 25 à 36 par cheval électrique.

Les bougies électriques servent de transition, par leur puissance et leur rendement, entre les régulateurs à arc et les lampes à incandescence.

La bougie Jablochkoff exige de 7,5 à 8,5 ampères et de 42 à 43 volts pour bien fonctionner. Les bougies Jamin marchent avec 6,5 et même 3,5 ampères seulement — le diamètre des charbons n'est pas donné; — mais par contre elles exigent de 69 à 77 volts de force électromotrice. Ce courant de 3,5 ampères nous paraît bien faible pour maintenir un arc et donner une certaine fixité à la lumière; il ne paraît pas non plus très favorable au rendement, puisque les bougies n'ont fourni que 27 becs Carcel par cheval d'énergie électrique avec des foyers dont l'intensité ne dépassait pas, il est vrai, 9,4 becs Carcel.

La Commission n'a pas fait d'expériences sur les systèmes d'incandescence mixte, comme la lampe Soleil et les lampes à incandescence avec combustion, Werdermann, Reynier, Joel, Napoli, etc.

IV. *Lampes à incandescence en vase clos.* — Les expériences ont porté sur les lampes Maxim, Edison, Lane-Fox et Swan. La lumière produite a varié entre 6 et 12,8 becs Carcel par cheval mécanique, et entre 11 et 22 becs Carcel par cheval d'énergie électrique absorbée par les lampes.

Il ne faut pas perdre de vue à ce sujet que le *rendement* des lampes à incandescence peut être beaucoup augmenté en les *poussant*, mais que par ce moyen on diminue leur durée ou leur *vie*, c'est-à-dire le nombre d'heures qu'une lampe bien construite peut durer avant que la désagrégation plus ou moins lente du filament ne le fasse rompre; suivant que la force motrice ou les lampes seront d'un prix plus élevé, il y aura donc lieu de choisir une allure ou l'autre, c'est-à-dire pousser les lampes pour dépenser moins de force ou, au contraire, les pousser un peu moins pour augmenter leur durée.

Sur ce point spécial, les expériences de la Commission n'ont apporté aucun renseignement précis, et l'on est encore obligé de s'en rapporter à la bonne foi des fabricants.

En résumé, en ne considérant que l'énergie électrique propre absorbée par les foyers électriques, on peut admettre, d'après les chiffres fournis par la Commission, que :

1° Les gros foyers de phare fournissent de 100 à 120 becs Carcel par cheval;

2° Les arcs moyens de 200 à 300 becs, environ 80 becs Carcel par cheval;

3° Les petits arcs de 80 à 60 becs, environ 60 becs Carcel par cheval;

4° Les bougies électriques, environ 40 becs;

5° Les lampes à incandescence, environ 10 à 12 becs en marche normale et jusqu'à 20 becs en sacrifiant leur durée totale pour augmenter le rendement.

Les lampes microscopiques. — Les lampes à incandescence sont de fait, sinon de droit, dans le domaine public, aussi s'est-on ingénié depuis deux ans à en construire de toutes dimensions, de toutes puissances et de tous les prix.

Des lampes de très petites dimensions et alimentées pendant quelques minutes seulement par une pile ou un accumulateur sont actuellement employées dans les théâtres pour produire des effets nouveaux : bouquets de corsage ou diamants de danseuses, diadème, collier, etc.

Le dernier mot de ces petites lampes est la lampe *boucle d'oreille*, dans laquelle un filament de charbon microscopique est enfermé dans une boule de verre de *cinq* millimètres de diamètre et *neuf* millimètres de longueur. La pile capable d'alimenter cette lampe pendant quelques minutes est assez petite pour se dissimuler dans une coiffure disposée *ad hoc*. Ces petites lampes seront le succès des bals masqués de l'hiver de 1884!

CHAPITRE IV

LES APPLICATIONS DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Les applications de la lumière électrique prennent de jour en jour une importance plus grande, et il serait trop long d'énumérer toutes celles qu'elle a déjà reçues depuis les premières expériences de *Delcail* et *Archereau* en 1842.

Nous nous contenterons d'en signaler quelques-unes parmi les plus importantes, depuis les puissants foyers de 4000 becs Carcel et plus, jusqu'aux lumières à incandescence dont la puissance lumineuse atteint un dixième de bougie à peine, et qui servent en médecine à l'éclairage des cavités obscures.

Après avoir écrit les différents modes de produire le courant électrique et les appareils qui transforment en lumière l'électricité qu'on leur envoie, nous devons examiner la valeur de chacune des sources électriques par rapport aux foyers qu'elle doit alimenter, avant de passer en revue les diverses applications qui en ont été faites. Nous suivrons pour cet examen rapide l'ordre que nous avons suivi pour l'étude des générateurs électriques.

Piles à liquides. — Bien que l'on puisse, *théoriquement*, faire de la lumière électrique avec une pile *quelconque*, à la condition de disposer convenablement un nombre suffisant d'éléments, il n'existe pas de piles à liquides capables de produire commodément et *économiquement* de la lumière. Les grands développements de l'éclairage électrique ne datent que de l'em-

ploi des machines. Avant les machines, la pile Bunsen, sous ses différentes formes, a été appliquée pour l'éclairage des grands travaux avec le régulateur Serrin, les projections et les théâtres avec le régulateur Foucault et Duboscq. Aujourd'hui encore elle est employée à l'Opéra pour les effets de scène; mais il est probable que l'introduction de machines ne s'y fera pas longtemps attendre. L'emploi des piles pour l'éclairage électrique, sauf quelques rares exceptions, est réservé exclusivement aux cabinets de physique, aux expériences de laboratoire et aux projections.

En dehors des considérations économiques, qui font rejeter l'emploi des piles, à cause de leur prix élevé, la manipulation d'un grand nombre d'éléments — il en faut au moins quarante de puissance moyenne pour produire un arc voltaïque un peu stable — présente des ennuis et des difficultés, et les vapeurs d'acide hypoazotique sont très dangereuses à respirer.

Malgré ces nombreux inconvénients, M. Tommasi a essayé, en 1879, de rendre la pile Bunsen pratique et applicable à l'éclairage domestique. L'élément Tommasi, qui ne présente rien de bien particulièrement nouveau, malgré le nom un peu prétentieux de *pile perpétuelle* dont l'a baptisé M. l'abbé Moigno, ne peut en aucune façon remplir le but que se propose l'inventeur et la société qui l'exploite. Après quatre années, nous en sommes encore à attendre la première application.

La pile dite *impolarisable* de M. Cloris Baudet se trouve, à la réclame près, dans le même cas que la pile Tommasi.

En 1883, M. Trouvé a réalisé quelques éclairages chez des particuliers à l'aide de sa pile au bichromate, mais nous considérons ces applications plutôt comme des curiosités scientifiques que comme des installations pratiques et véritablement domestiques, au même titre que les sonneries électriques, par exemple.

Piles thermo-électriques. — L'application des piles thermo-électriques à l'éclairage ne date que d'hier, et c'est à M. Clamond que revient l'honneur de l'avoir produit pour la première fois en 1879.

Avec la pile de 6000 éléments que nous avons décrite page 43, M. Clamond a pu faire fonctionner deux régulateurs Serrin disposés spécialement pour cette pile et fournissant une lumière variant de trente à cinquante becs Carcel pour chacun d'eux. Il s'est malheureusement arrêté à ces résultats encourageants.

Piles secondaires. — Bien que la pile secondaire ne soit pas à proprement parler un générateur électrique, elle peut rendre des services dans plusieurs applications spéciales dont nous citerons quelques-unes.

Les piles secondaires permettent de produire, après quelques minutes de charge, avec deux éléments Bunsen, un arc voltaïque d'une durée de quelques secondes et d'une très grande intensité en employant un nombre suffisant de couples secondaires. Cette lumière pourrait être appliquée aux signaux lumineux, à la photographie, et, en général, dans tous les cas où l'on ne demande pas une longue durée d'éclairage.

En étendant encore le problème, les piles secondaires permettraient, si l'on parvient à augmenter la puissance d'emmagasinement des éléments, d'utiliser les forces naturelles, cours d'eau, vents et marées, à l'éclairage électrique.

Il n'y a aucune utopie à prévoir une pareille application, car elle repose sur un principe philosophique qui est l'utilisation des forces perdues, ou plutôt non utilisées, et sur des appareils qui ont tous déjà une existence réelle, moulins à vent, turbines, machines électriques et batteries d'emmagasinement.

En ne considérant que la question de luxe, les accumulateurs ont déjà rendu des services très réels pour l'éclairage des théâtres, fêtes particulières, soirées, etc. Pendant l'hiver 1882-83, la société qui exploite les accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar faisait à forfait, à raison de tant par soirée et par lampe, l'éclairage électrique chez des particuliers en amenant à leur porte un camion portant des accumulateurs chargés en nombre suffisant pour assurer le service.

Les piles secondaires ont aussi trouvé leur emploi pour régulariser un éclairage électrique en jouant le rôle de *volant électri-*

que, emmagasinant lorsque la force électromotrice du générateur dépasse une certaine valeur, et restituant au contraire l'énergie emmagasinée lorsque la force électromotrice du générateur tombe au-dessous de son régime normal.

Enfin, on s'en est servi — nous citerons comme exemples les éclairages du théâtre des Variétés et du Grand-Hôtel — pour obtenir pendant quelques heures un éclairage plus puissant que celui que permettraient le moteur et les machines dont on dispose. Ces dernières fonctionnent jour et nuit. Pendant le service, de sept heures à minuit, par exemple, pour un théâtre, les accumulateurs fournissent ce que les machines ne peuvent pas donner, et les aident en restituant l'énergie électrique emmagasinée pendant la journée.

Machines magnéto et dynamo-électriques. — L'éclairage électrique s'accommode également bien, le plus souvent, des différents générateurs mécaniques d'électricité, à courants continus ou alternatifs, magnéto ou dynamo-électriques. Dans l'application cependant, les machines et les foyers sont étudiés pour fonctionner ensemble, et on s'attache à leur donner des qualités qui répondent à leur association.

Les lampes *monophotes* marchent également bien avec tous les courants, pourvu que l'intensité et la pression du courant soient suffisantes pour alimenter l'arc.

Les régulateurs à *division* emploient aussi indifféremment les deux sortes de courants, mais ils sont étudiés pour fonctionner avec des machines d'un type déterminé, appartenant le plus souvent au même inventeur.

Toutes les *bougies* emploient les courants alternatifs : l'obligation d'user également les deux charbons impose cet emploi d'une façon absolue. Les courants alternatifs produisent cependant dans le foyer un bruit fort désagréable de nature à en faire rejeter l'emploi dans bon nombre d'applications.

Les lampes à *incandescence* Reynier, Werdermann, Napoli, s'accommodent aussi des deux natures de courants, mais il semble que le courant continu donne un rendement plus élevé.

L'*incandescence sans combustion* se produit indifféremment avec les courants continus ou alternatifs. La tendance actuelle est de faire usage de machines *Compound* qui permettent d'éteindre à volonté un nombre quelconque de foyers sans réagir sur l'intensité de ceux qui restent allumés.

Le nombre de foyers alimentés par une seule machine est aussi très variable. On peut ne mettre qu'un foyer par machine; c'est une installation coûteuse à laquelle on n'a plus recours aujourd'hui que dans des cas spéciaux. La lampe à division permettait d'établir deux, quatre, six, dix et jusqu'à quarante foyers à arc voltaïque sur un même circuit, *en tension*.

Les bougies électriques se montent par séries, en divisant le générateur en plusieurs circuits distincts.

Les lampes à incandescence s'alimentent aussi par séries, suivant les qualités du courant fourni par les machines. La tendance actuelle, dans les distributions de lumière, est de les établir *en dérivation*.

On voit, par ce que nous venons de dire, qu'il n'existe pas de source électrique dont on puisse conseiller universellement l'emploi. Chaque circonstance spéciale doit déterminer le choix à faire suivant le nombre de foyers, leur puissance, le besoin plus ou moins grand de régularité, de simplicité ou d'économie. Dans les quelques exemples d'application que nous allons maintenant passer en revue, nous signalerons la source employée, en donnant, autant que possible, les raisons qui en ont motivé l'emploi.

Éclairage des phares. — C'est le 26 décembre 1863 que les phares de la Hève reçurent pour la première fois un éclairage électrique avec les machines de l'*Alliance*.

En Angleterre, on employa peu de temps après les machines de Holmes, peu différentes de celles de l'*Alliance*.

Les courants employés aux phares de la Hève sont alternatifs; au cap Lizard, on emploie des courants continus.

Dans l'état naturel de l'atmosphère, les machines de l'*Alliance* à quatre disques donnent une portée de 38 kilomètres, et celles à six disques une portée de 50.

En France, on a donné aujourd'hui la préférence aux machines magnéto-électriques à courants alternatifs de M. Méritens qui, malgré leur poids et leur prix élevés, présentent les avantages d'une grande simplicité et d'une grande régularité.

Éclairage des navires. — La lumière électrique peut rendre aussi de grands services dans l'éclairage des navires où l'on dispose de vapeur pour la force motrice, et où l'installation d'une machine dynamo-électrique ne présente pas de difficultés.

Pour les navires de guerre, on complète l'installation de la lumière électrique par des projecteurs qui ont pour effet de renvoyer la lumière dans une direction donnée et de sonder successivement tout l'horizon. Les machines dynamo-électriques sont mises en mouvement par de petits moteurs à trois cylindres, système Brotherhood, Maxim ou Dolgorouki : la marine française emploie le régulateur à main qui, pour les usages de la guerre, permet d'obtenir plus facilement les extinctions, les rallumages et de régler instantanément l'intensité de la lumière projetée sur un point donné. L'incandescence s'introduit très rapidement dans les navires à vapeur, et la plupart des paquebots en sont aujourd'hui munis. Cet éclairage est à la fois plus luxueux, plus commode et plus économique.

Signaux. — La lumière électrique rendra aussi de grands services pour les signaux de nuit, soit en éteignant la ou les lumières, soit en masquant et en démasquant successivement le foyer qui doit être éteint ou rallumé.

La manœuvre se fait à distance par un système très bien combiné par M. de Mersanne qui permet, en même temps qu'on effectue ces allumages et ces extinctions, de contrôler si elles ont été effectivement produites sans voir la lampe.

Applications à la guerre. — La lumière peut être appliquée à la guerre, soit pour fournir des signaux, soit pour produire des éclairages de plus ou moins longue durée, comme, par exemple, pour reconnaître une fortification, diriger le tir d'une batterie, pour ne pas être surpris lors de l'ouverture d'une

tranchée, pour l'éclairage d'une brèche ou d'un assaut, etc. Ces différentes applications ont été étudiées par M. Martin de Brettes dans un mémoire intéressant publié par M. du Moncel dans son *Exposé des applications de l'électricité*. Nous y renvoyons le lecteur.

Aujourd'hui l'emploi des machines dynamo-électriques actionnées par des locomobiles facilite ces opérations.

Pour les signaux de guerre, M. Gramme a combiné une machine de petites dimensions qu'on peut faire mouvoir à bras d'homme. Quatre hommes attelés à une manivelle produisent 50 becs Carcel, intensité bien suffisante la plupart du temps pour les besoins de la guerre.

Éclairage des trains de chemin de fer. — La lumière électrique n'est pas encore appliquée d'une façon courante dans les trains de chemins de fer pendant la nuit, mais on poursuit en ce moment des expériences fort intéressantes pour l'éclairage des locomotives, d'une part, et celui des voitures, d'autre part, par des lampes à incandescence et des accumulateurs.

L'éclairage électrique des voitures à voyageurs est subordonné aux progrès de ces derniers : il deviendra rapidement universel dès que les accumulateurs seront devenus pratiques.

Éclairage des usines et des manufactures. — C'est pour l'éclairage des grands espaces que convient surtout la lumière électrique à arc voltaïque, aussi a-t-elle reçu depuis quelques années dans ce but un très grand nombre d'applications, plus spécialement lorsque l'usine possède un moteur puissant, à vapeur ou hydraulique, sur lequel on peut distraire quelques chevaux de force pour l'éclairage des ateliers, cet éclairage cessant lorsque le moteur s'arrête, en même temps que le travail lui-même. Les premières installations ont été faites avec des régulateurs monophotes et des machines Gramme ou Siemens : il fallait alors une machine et une transmission par foyer. Depuis quelques années, les machines puissantes et les régulateurs à division tendent à se généraliser ; on préfère alors prendre un type de machine suffisant pour alimenter tous les

foyers dont on a besoin ; on les dispose en un seul circuit ou en un petit nombre de circuits ; l'économie ainsi réalisée porte à la fois sur le prix de la machine unique remplaçant les machines multiples, l'installation des transmissions des conducteurs et l'entretien du matériel.

Les foyers ainsi obtenus sont moins puissants que les foyers monophotes, mais on les préfère à dépense égale, quitte à en multiplier le nombre pour obtenir un éclairage mieux réparti et mieux diffusé.

Cette diffusion est d'ailleurs presque indispensable dans la plupart des applications. C'est ainsi qu'à l'administration des télégraphes de Bruxelles, on éclaire la grande salle des appareils à l'aide de deux foyers, disposés de telle sorte, qu'on ne peut voir le foyer lui-même d'aucun point de la salle.

On obtient même des éclairages *mixtes*, dans lesquels une machine peut alimenter à la fois des lampes à arc et des lampes à incandescence, distribuées suivant les besoins.

La lumière électrique au théâtre. — Les débuts de la lumière électrique au théâtre datent de 1846. C'est dans l'opéra *le Prophète*, qu'elle apparut pour la première fois sous l'apparence d'un effet de soleil qui excita l'étonnement et l'admiration du public.

Il y a près de vingt ans que M. Duboscq a été chargé de projeter, sur la scène de notre Académie nationale de musique, les rayons de l'arc voltaïque, et c'est encore lui qui a organisé l'installation électrique du nouvel Opéra.

La lumière électrique a été produite jusqu'ici sur la magnifique scène que l'on doit à M. Charles Garnier, par trois cent soixante éléments de pile Bunsen qui sont installés dans une salle du rez-de-chaussée du nouveau monument.

Nous n'insisterons pas davantage sur cette installation qui n'est plus en rapport aujourd'hui avec les progrès modernes et qui finira certainement par disparaître dans un temps peu éloigné.

L'éclairage électrique de l'Hippodrome. — L'éclairage

électrique de l'Hippodrome comprend cent vingt bougies Jablochhoff et vingt et un régulateurs Serrin, qui, en plein fonctionnement, dépensent cent soixante chevaux de force. L'usage de deux systèmes différents, bougies et régulateurs, nécessite l'emploi de deux systèmes de machines différents.

Les cent vingt bougies sont alimentées par trois machines à courants alternatifs de vingt bougies chacune et par une machine de soixante bougies. Les régulateurs sont alimentés chacun par une machine Gramme à courant continu. Chaque machine ne peut alimenter qu'un seul régulateur à la fois, mais à l'aide d'un commutateur à plusieurs directions, on peut éclairer différentes parties de la salle suivant les exigences du spectacle.

Tous les changements s'effectuent avec une rapidité et une facilité remarquables. Signalons encore une disposition qui a permis de réaliser quelques économies dans l'installation. On n'emploie pas de fil de retour pour compléter le circuit. Le retour se fait par la terre, ou plutôt par la charpente de l'Hippodrome, qui, toute en fer, sert de conducteur et complète le circuit.

Les machines à division sont à courants alternatifs du système Gramme.

Tandis que les trois machines de vingt bougies dépensent soixante chevaux, M. Geoffroy, l'ingénieur en chef du service électrique, estime que la machine de soixante bougies n'absorbe pas plus de cinquante chevaux de force : on retrouve donc encore ici l'avantage que présente l'emploi des machines puissantes sur celui des petites machines. Le travail dépensé varie entre cent soixante et cent soixante-dix chevaux-vapeur. La force motrice est fournie par deux moteurs à vapeur du type dit *Compound*, de cent vingt chevaux chacun. Deux volants-poulies de 2^m,60 de diamètre transmettent le mouvement à deux arbres intermédiaires à l'aide de courroies en caoutchouc de 40 centimètres de largeur; cet arbre intermédiaire porte un tambour sur lequel passent les courroies en crin qui transmettent le mouvement aux machines électriques. Trois chaudières à vapeur, de soixante-quinze chevaux chacune, complètent l'installation.

Rien de plus vivant et de plus intéressant que cette usine électrique au moment du spectacle, lorsque tout est en marche et que chacun est à son poste.

Il nous reste à dire quelques mots de la question économique, qui joue ici un très grand rôle. L'éclairage électrique de l'Hippodrome, dont personne ne peut nier la puissance ni la beauté, coûte, tous frais comptés, 250 à 260 francs par soirée. L'éclairage au gaz, il y a quelques années, coûtait de 1100 à 1200 francs et produisait un effet assez mesquin.

Voilà donc une application d'une importance considérable réalisant une économie qui ne se retrouverait plus pour une application de la lumière électrique de faible importance ; dans ce cas, le gaz reprendrait incontestablement ses avantages.

Application de la pile secondaire à la galvanocaustie et à l'éclairage des cavités obscures. — La propriété du courant voltaïque de porter au rouge les conducteurs métalliques résistants, en les traversant, a été utilisée en chirurgie par John Marschall vers 1851 ; par Leroy d'Étiolles, 1853 ; Middel-dorpf, 1854 ; Broca, 1856, etc.

Ce ne fut que plus tard qu'on chercha à produire l'éclairage. En 1867, M. le docteur Bruck, dentiste à Breslau, présentait un appareil destiné à éclairer les cavités buccales et auquel il donnait le nom de *stomatoscope*. Un peu plus tard, en France, M. le docteur Millot fit de nombreuses expériences pour éclairer l'estomac des animaux, à l'École pratique de Paris.

Le succès ne répondit pas à ces tentatives par suite de l'inconstance de la source électrique (couples de Grove et de Bunsen) qui nécessitait alors des fils de platine très gros, pour ne pas les exposer à une volatilisation permanente. On obtenait bien des effets lumineux, mais on obtenait en même temps des effets calorifiques trop intenses pour l'application de ce mode d'éclairage. On eut recours à une circulation d'eau pour anéantir ce calorique au fur et à mesure de sa production, mais les appareils étaient trop volumineux et devenaient d'un maniement difficile. Aussi ne passèrent-ils pas dans la pratique.

M. G. *Planté* indiqua dès 1868 l'application de la pile secondaire pour cet usage et le réalisa en 1872.

En 1873, M. le D^r *Onimus* a effectué avec l'appareil de M. *Planté* des cautérisations de la glande lacrymale sur sept ou huit sujets

successivement sans qu'il ait été nécessaire de recharger l'appareil. M. *Trouvé* a ajouté à l'appareil de M. *Planté* un rhéostat à fils de platine destiné à graduer l'intensité du courant suivant le diamètre et la longueur du fil de platine employé comme appareil éclairant ou comme cautère. C'est cet appareil auquel il a donné le nom de *polyscope* et que nous représentons dans sa boîte (fig. 83).

Grâce au rhéostat, on peut porter au point de fusion, sans jamais le dépasser, pendant plusieurs heures consé-

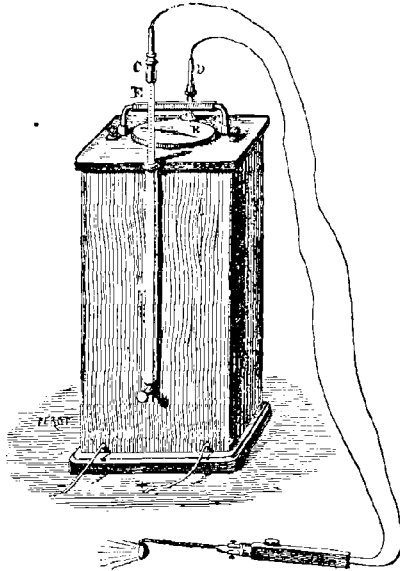


Fig. 84. — Polyscope de M. Trouvé.

cutives, des fils de platine depuis $\frac{1}{15}$ jusqu'à 1 millimètre et demi de diamètre. M. *Trouvé* emploie, au lieu de spirales de platine,

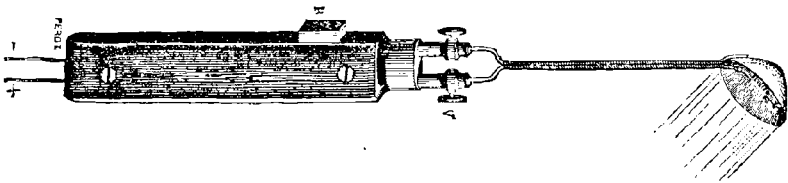


Fig. 85. — Réflecteur avec manche à pédale.

de petits fils aplatis en leur milieu, de manière à former un petit disque incandescent.

Pour l'éclairage des cavités, M. *Trouvé* emploie une série de réflecteurs sphériques, concaves ou paraboliques, munis ou dé-

pourvus de miroirs. Un manche à pédale et des conducteurs relient ces réflecteurs au réservoir en C et D (fig. 84).

Au cinquantenaire de la fondation de l'École centrale, en 1879, M. Trouvé a illuminé pour la première fois, avec un polyscope spécial, l'intérieur d'un brochet: rien de plus intéressant que de voir *par transparence* l'intérieur de ce poisson qui ne paraît pas d'ailleurs autrement incommodé de sa transformation en lanterne vénitienne d'un nouveau genre. On s'explique facilement la puissance de l'éclairage obtenu avec une source lumineuse relativement aussi faible par la loi du carré des distances; en plaçant le point lumineux très près de l'objet à éclairer, et en ayant l'œil dans l'obscurité, on se trouve dans les meilleures conditions possibles pour bien voir cet objet.

Applications diverses. — Nous avons choisi presque au hasard, parmi les applications si nombreuses et si diverses qu'a reçues la lumière électrique pendant ces dernières années; il faudrait un volume entier pour passer en revue toutes celles où elle a rendu les services qu'on aurait en vain demandés au gaz.

On s'en sert dans les *mines*, soit avec des tubes de Geissler, comme dans l'appareil de MM. *Dumas* et *Benoît*, soit avec des régulateurs Serrin et des machines Gramme, comme aux ardoisières d'Angers, soit avec la lampe à incandescence Edison, Swan, etc. Avant l'invention des machines dynamo-électriques, la lumière électrique avait déjà été employée avec des piles pour certains travaux de construction, tels, par exemple, que la construction de l'Imprimerie nationale en 1868-69. Les bougies Jablochhoff ont été utilisées pour l'achèvement rapide du palais du Trocadéro, la restauration du palais du Sénat au Luxembourg, du pont des Invalides, etc. On n'en est plus à compter les applications de la lumière électrique à l'éclairage des gares, des ateliers et des places publiques. Nous la trouvons dans des églises et des théâtres, des bibliothèques et des skating-rinks; sous l'eau pour l'éclairage des travaux hydrauliques et le sauvetage des navires naufragés, dans les trains de chemins de fer, à bord des

navires, dans l'air, sur les plus hauts édifices, comme au 14 Juillet, où elle formait une couronne de feu au sommet du Panthéon.

N'oublions pas non plus les applications fantaisistes que certains inventeurs trop enthousiastes réservent pour la lumière électrique. Plusieurs ont voulu éclairer une ville entière en disposant en un point élevé une lumière d'une puissance incomparable devant jouer le rôle d'un vrai *soleil électrique*. La loi du carré des distances vient malheureusement montrer bien vite combien cette idée est irréalisable, en dehors des difficultés que présente la création d'un foyer électrique d'une intensité suffisante.

D'autres ont proposé d'éclairer les voitures à l'électricité en mettant à profit le mouvement même du véhicule, et on a fait circuler pendant quelques jours à Paris une *voiture-réclame* fondée sur cette idée.

Signalons enfin, parmi les applications plus sérieuses, l'emploi aux projections dans l'enseignement, la reproduction et l'agrandissement des photographies microscopiques qui ont rendu de si grands services pendant la guerre de 1870, les reproductions des agrandissements tels que la *linographie*, si bien exécutée par M. *Pierre Petit*, la photographie la nuit passée dans la pratique courante chez M. *Van der Veyde*, à Londres, et M. *Liébert*, à Paris.

Nous allons maintenant examiner les avantages et les inconvénients de la lumière électrique, dire quelques mots de son prix de revient, et après cet examen de l'état actuel du problème de la *division de la lumière*, on saisira bien mieux quel avenir immense lui est réservé si, comme on est en droit de l'espérer, le progrès suit la marche ascendante qu'il a su si bien conserver jusqu'à ce jour.

Avantages et inconvénients de la lumière électrique.

— Comme le dit très justement M. Fontaine dans l'avant-propos de son ouvrage sur l'*Éclairage à l'électricité*, « il est incontes-
« table que, lorsqu'on a besoin d'une lumière très intense en un

« seul point, comme cela a lieu dans les forts pour surveiller
« l'ennemi, dans les ports pour combattre l'effet destructif des
« bateaux-torpilles, dans les phares pour guider les navigateurs,
« la lumière électrique est non seulement la plus économique de
« toutes les lumières, mais elle est encore souvent la seule qui
« soit applicable. Il est également certain que, pour un grand
« chantier comme celui de l'avant-port du Havre ou pour une
« vaste enceinte comme celle de l'hippodrome de Paris, où il est
« impossible de suspendre des appareils d'éclairage et de placer
« des candélabres sur la piste, la lumière électrique est la seule
« possible, la seule qui puisse remplacer le soleil absent.

« On peut donc tout d'abord affirmer que l'éclairage à l'élec-
« tricité a un domaine qui lui est propre et où il ne craint même
« pas la concurrence des autres systèmes.» Voilà donc la lumière
électrique classée comme *foyer intense*, et sans concurrence possi-
ble de la part des systèmes antérieurs. Nous l'examinerons tout
à l'heure au point de vue des *foyers divisés*.

Un second avantage de la lumière électrique est la faible quan-
tité de la chaleur dégagée par l'arc voltaïque. A lumière égale,
l'arc voltaïque produit de *cent cinquante à deux cents* fois moins
de chaleur qu'un bec de gaz. Cette propriété est très précieuse et
très appréciée dans un grand nombre d'applications où la cha-
leur dégagée par le gaz est véritablement insupportable. Ajou-
tons comme corollaire de cet avantage que, n'empruntant à l'air
ambiant qu'une très faible partie de son oxygène, — celui qui
est nécessaire à la combustion des charbons, — elle ne vicie pas
l'atmosphère.

Un autre avantage de la lumière électrique — avantage con-
testé néanmoins par un grand nombre de personnes impartiales
— est sa coloration, qui permet de conserver aux couleurs toutes
leurs nuances, et de différencier les teintes les plus voisines. Le
contraste seul lui donne cet aspect blafard dont on l'accuse, et
on n'a qu'à regarder simultanément un bec de gaz et une bougie
Jablochkoff par exemple, pour voir combien le reproche est mal
fondé; le seul coupable est le gaz dont la lumière est d'une cou-

leur jaune très prononcée, mais notre œil est si habitué à cette lumière colorée que la lumière électrique qui, comme celle du soleil, renferme toutes les couleurs du spectre, nous paraît pauvre parce qu'elle est au contraire trop riche et pêche par excès de qualités.

D'ailleurs, il est très facile, avec les lampes à incandescence pure, de reproduire ces tons jaunes dont notre œil ne peut encore se déshabituer.

Ajoutons, comme avantages non moins importants, que la lumière électrique ne répand pas d'odeur, nous met à l'abri des explosions, diminue dans une grande proportion les chances d'incendie, permet d'éclairer des espaces très éloignés du lieu de sa production, et peut, lorsqu'on ne fait pas un éclairage *direct*, mais un éclairage par *réflexion*, répandre autour d'elle une splendide lumière diffuse qui lutte avec avantage, au point de vue de l'économie, avec celle du gaz.

Passons maintenant aux inconvénients. Le premier que nous voulions signaler, parce qu'il n'est qu'à titre transitoire et disparaît à mesure que les appareils se perfectionnent, provient du *manque de fixité* de la lumière, soit comme intensité, soit comme coloration.

Avec les appareils que nous avons décrits dans cet ouvrage, on obtient une constance très grande lorsqu'ils sont bien construits et bien réglés : les régulateurs Serrin et Jaspar et les régulateurs polyphotes présentent toute la fixité nécessaire ; quant aux bougies, les changements de coloration et d'intensité sont dus à ce que, dans ces appareils, comme nous l'avons dit chapitre II, on a sacrifié la *qualité* de la lumière à la *simplicité* et à la *rusticité* du foyer. L'inconvénient provenant des extinctions accidentelles disparaît de jour en jour, à mesure que le personnel devient plus habile dans le maniement des appareils et des lampes.

L'emploi des accumulateurs atténue beaucoup ces inconvénients, surtout lorsque ces accumulateurs alimentent directement des lampes à incandescence. Aucun éclairage, quel qu'il soit, n'approche alors de la fixité ainsi obtenue.

On peut reprocher aussi à certains foyers électriques un bruit souvent très fatigant qui en proscriit l'emploi dans des locaux silencieux et exigus. Ce bruit particulier peut être très atténué dans les bougies et les régulateurs qui emploient les *courants alternatifs*, mais ne peut disparaître complètement ; il provient de la nature même de ces courants et ne sera évité que par les *courants continus*, dont l'emploi est d'ailleurs bien plus général dans les applications électriques.

Nous avons réservé pour la fin les objections les plus graves contre l'emploi de l'éclairage électrique.

La pile hydro-électrique n'étant pas un appareil pratique et économique pour cette application, la pile thermo-électrique n'étant encore que dans la période d'expériences, on ne peut employer, pour produire le courant, que les machines électro-dynamiques, ce qui oblige, la plupart du temps, à installer un moteur à vapeur ou à gaz, et amène à sa suite tous les inconvénients propres à ces appareils, chauffeur, mécanicien, entretien des machines, mise en marche, etc., etc.

Voilà l'inconvénient le plus grave, et en réalité le seul sérieux. Il disparaît néanmoins dans certaines usines où l'on emprunte la force motrice à la transmission générale. Dans ce cas, l'éclairage électrique ne présente au contraire que des avantages. Dans d'autres, on a fait en petit ce qu'ont fait en grand les compagnies du gaz. On a créé de véritables *usines électriques*, comme à l'hippodrome, aux magasins du Louvre, au Printemps, etc. La solution de la question se trouve dans la création d'*usines centrales d'électricité* distribuant le courant électrique dans des conditions analogues à celles du gaz. En attendant la généralisation de cette idée, les avantages de la lumière électrique sont si importants qu'on a passé outre sur ce grave inconvénient. Machines à vapeur, moteurs à gaz, moteurs hydrauliques sont aujourd'hui employés spécialement et *exclusivement* pour l'éclairage électrique, et le nombre s'en accroît chaque jour.

Restent les questions du prix de revient et de la division des foyers dont nous allons maintenant dire quelques mots.

Prix de revient de la lumière électrique. — Rien n'est plus variable que le prix de revient de la lumière électrique. L'on nous a souvent demandé si l'électricité coûtait moins cher que le gaz, et l'on s'est étonné de notre embarras pour répondre à cette question. Suivant les cas, l'électricité peut coûter dix fois moins que le gaz, ou, au contraire, dix fois plus : nous en citerons quelques exemples.

Dans une usine qui dispose d'une force motrice à vapeur ou hydraulique, il ne coûte presque rien de prendre quelques chevaux sur l'arbre de transmission et de les employer à mettre en mouvement une machine Gramme, par exemple, alimentant un régulateur Serrin, une série de régulateurs à division ou de lampes à incandescence. La dépense dans ce cas se réduit presque uniquement à l'amortissement de la machine et des lampes, et à la combustion des charbons. Dans ces conditions, l'éclairage électrique, s'il est bien combiné, est à tous les points de vue supérieur au gaz. Pour les mêmes raisons, il sera économique de l'employer à bord des navires où la vapeur ne fait jamais défaut, l'éclairage à l'huile et à la bougie étant relativement très dispendieux. Si, poussant les choses à l'extrême, on installe au contraire une machine à vapeur pour un foyer unique, la dépense se trouve hors de proportion avec le résultat ; l'amortissement, la surveillance et l'entretien sont considérables, et le gaz reprend haut la main tous ses avantages.

En multipliant le nombre des foyers alimentés par une machine motrice unique, la disproportion s'efface peu à peu, et lorsqu'on crée, comme au Louvre et à l'Hippodrome, une puissante usine électrique, l'économie réparaît de nouveau.

Si l'on a recours aux piles, — la pile Bunsen est jusqu'à présent la seule qui ait reçu des applications à l'éclairage, — le prix de revient devient énorme ; il atteint 3 francs par heure pour 60 éléments, sans compter la main-d'œuvre, d'après les expériences de Becquerel.

Les moteurs à gaz, employés dans une certaine mesure, ont rendu l'éclairage électrique économique à cause de leur facilité

de mise en marche et d'arrêt, et parce qu'ils ne consomment que lorsqu'ils travaillent. Citons, comme exemple, la photographie à l'électricité.

On retrouve dans ce cas une réelle économie, car si un bec de gaz est un appareil d'éclairage simple et commode, il faut avouer que son rendement lumineux est détestable. En brûlant directement 4 mètres cubes de gaz, on peut produire 40 becs Carcel *au plus* lorsqu'on veut des foyers divisés. En dépensant cette même quantité de gaz dans un moteur Otto, on produirait une force de quatre chevaux-vapeur qui, transformée en électricité par une machine Gramme, et en lumière par un régulateur Serrin, fournirait une puissance lumineuse de plus de 300 becs Carcel, tout en dégageant 150 fois moins de chaleur.

Ces chiffres montrent que si les becs de gaz divisent la lumière, ils ne le font pas sans une certaine perte et sans un gaspillage fort important, de même ordre que celui des lampes à incandescence, et dont on ne tient généralement pas assez compte dans les comparaisons.

Nous croyons pouvoir nous dispenser de donner aucun chiffre, car ces chiffres varient à l'infini avec les conditions particulières à chaque installation.

LA DIVISION DE LA LUMIÈRE.

Les développements de la lumière électrique, depuis quelques années, sont considérables; ils sont cependant de peu d'importance comparés à ceux que l'avenir leur réserve: ces développements sont liés à la question aujourd'hui à l'ordre du jour, et déjà en partie résolue, la *division de la lumière*, et la *distribution de l'électricité*.

Il est évident, en effet, qu'avec les lampes à incandescence et des usines électriques distribuant le courant là où il est nécessaire, et en toutes quantités, comme on distribue aujourd'hui le gaz, on éliminera les inconvénients de l'éclairage électrique pour ne plus laisser subsister que ses avantages.

Il n'y a aucune témérité à prévoir la réalisation de cette révolution industrielle; la multiplicité même des solutions proposées montre qu'elle est possible, les intéressants résultats déjà obtenus indiquent qu'elle sera prochaine. Les progrès à réaliser sont de deux ordres très différents. Il faut en effet étudier, d'une part, la division du courant et, d'autre part, la bonne utilisation de ce courant dans des foyers convenablement appropriés.

Les machines à courants continus permettent le fractionnement des foyers, soit avec l'arc voltaïque, soit par l'incandescence.

La machine Brush alimente *quarante* régulateurs montés *en tension* sur le même circuit. C'est le résultat le plus remarquable qu'on ait obtenu jusqu'ici au point de vue du nombre des appareils à *arc voltaïque* disposés sur un seul circuit. Tous les régulateurs différentiels permettent d'ailleurs cette division, à la condition que le courant fourni par la machine ait assez de tension pour franchir les résistances que ces arcs présentent.

Avec l'éclairage par incandescence, on obtient des résultats de division encore plus remarquables. Une machine Gramme d'atelier (type A) alimente facilement douze lampes Reynier en un seul circuit ou douze lampes Werdermann en deux circuits de six lampes chacun. Enfin, avec l'incandescence pure, le nombre des foyers qu'on peut alimenter est illimité, et l'on est arrivé à brancher plus de *mille* foyers sur une canalisation alimentée par un seul générateur électrique. Rien ne limite d'ailleurs le nombre de foyers que peut alimenter une machine donnée : des machines de 5000 et 6000 lampes à incandescence sont en construction, et le dernier mot n'est pas dit.

Les méthodes employées jusqu'ici pour la division des foyers à arc voltaïque font défaut par un point qu'il importe de signaler : elles ne réalisent pas, en général, une des conditions essentielles d'un éclairage absolument divisé, il leur manque l'indépendance des foyers alimentés par une source donnée : l'extinction d'une bougie Jablochkoff, par exemple, provoque celle de toutes les autres placées dans le même circuit ; l'extinction ou l'allumage

voulus d'un foyer influe sur tous les autres pour accroître ou diminuer l'intensité lumineuse.

L'arc voltaïque ne permet pas non plus une graduation convenable de la lumière; il faut, en effet, pour entretenir un arc voltaïque, une certaine *pression* minimum et un *volume* minimum d'électricité, dépendant de la grosseur des charbons, au-dessous desquels l'arc s'éteint complètement. Il semble donc bien établi aujourd'hui que la division de la lumière par petits foyers est réservée à l'incandescence.

Quant à la division du courant faite dans des conditions de nature à donner à toutes les lampes alimentées par une même source électrique une indépendance absolue, elle peut s'obtenir aujourd'hui très aisément. Si l'on veut bien se reporter à ce que nous avons dit sur le mode d'excitation des inducteurs des machines dynamo-électriques à courant continu, on verra que les éléments d'une circulation électrique, tension et quantité, sont très variables avec la résistance du circuit extérieur.

Il en résulte tout naturellement que tout changement apporté dans cette résistance, par l'augmentation ou la diminution du nombre des appareils alimentés, réagit aussitôt sur la source électrique, apporte une perturbation dans les rapports des facteurs et influe sur tous les autres foyers. Il faut donc disposer la source électrique dans des conditions telles que ces réactions nuisibles ne puissent plus s'exercer. Cela est possible à l'aide de dispositions dont nous allons indiquer le principe par une comparaison. Concevons un grand bassin rempli d'eau devant distribuer de l'eau dans une ville par un grand nombre de tuyaux de différentes sections. Pour obtenir dans chacun de ces tuyaux un écoulement constant, quel que soit le débit de tous les autres, il faut maintenir toujours le même niveau dans le bassin.

L'écoulement dans chaque conduite, ne dépendant que de la hauteur de l'eau dans le bassin, sera indépendant du débit des autres conduites. En électricité, la question se réduit à maintenir une *pression électrique* ou une *différence de potentiel* constante ou pratiquement telle sur le réseau de canalisa-

tion, pour maintenir la constance du débit dans chaque appareil.

Nous examinerons la question à un point de vue plus général à propos de la distribution de l'électricité, mais nous voulons faire connaître dès à présent les solutions partielles qui en ont été données pour la division de la lumière, par MM. Edison et Maxim.

Système Edison. — Dans le système Edison, toutes les

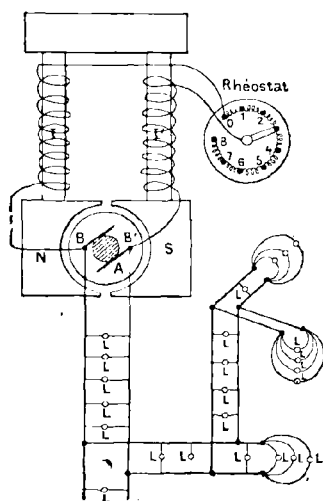


Fig. 86. — Principe du réglage du système Edison.

A. Induit. — BB'. Balais où sont branchés les conducteurs. — I, I'. Inducteurs. — L. Lampes à incandescence. — La puissance du champ magnétique dépend de la position du rhéostat sur les contacts 1, 2, 3...8.

lampes à incandescence sont établies en dérivation sur un ou une série de conducteurs principaux branchés aux bornes de la machine. Les inducteurs sont excités en dérivation (voir p. 79), la force électro-motrice de la machine dépend de la puissance du champ magnétique dans lequel tournent les inducteurs, c'est-à-dire de la puissance du courant qui les traverse.

On peut donc régler cette force électro-motrice en introduisant ou en enlevant des résistances dans le circuit d'excitation. Dans le système Edison, cette opération s'effectue à la main, à l'aide d'un rhéostat à manette.

Le diagramme montre la disposition des circuits et permet de comprendre le mode d'action du rhéostat. La manœuvre de ce rhéostat demande une surveillance continue : le réglage n'est pas automatique.

Système Maxim. — Le système de M. Hiram-Maxim est plus complet que celui d'Edison ; car il comporte un réglage automatique effectué par la machine elle-même suivant les variations qui se produisent dans le nombre des circuits alimentés.

M. Maxim excite un certain nombre de machines dynamo-

électriques — trois par exemple (fig. 87) — par une quatrième machine séparée. Les trois machines productrices sont branchées en dérivation, et les lampes elles-mêmes sont aussi branchées en dérivation sur les conducteurs principaux. Pour comprendre l'action du régulateur de M. Maxim, supprimons-le d'abord par la pensée et déplaçons à la main les balais collecteurs de l'excitatrice pendant que l'ensemble des machines, génératrices et excitatrices, est en mouvement.

En se reportant au mode de fonctionnement de la machine Gramme, on peut voir que le courant sera maximum lorsque les balais toucheront le collecteur suivant un diamètre *vertical* (1).

Lorsque les balais seront placés suivant un diamètre *horizontal* (1), c'est-à-dire toucheront les points *neutres*, il n'y aura plus aucun courant. Le déplacement des balais dans un angle d'environ 90° aura donc pour effet de faire passer le courant produit

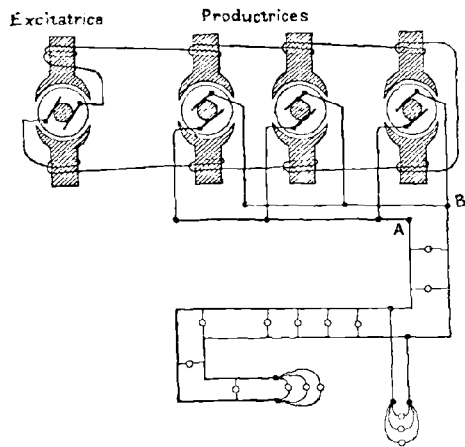


Fig. 87. — Montage des machines Maxim.

par l'excitatrice par toutes les valeurs, depuis 0 jusqu'à sa valeur maximum. Les champs magnétiques des machines génératrices varieront de puissance dans le même rapport que le courant produit par l'excitatrice. Comme la force électro-motrice des génératrices, pour une vitesse donnée et constante, est liée à la puissance des champs magnétiques dans lesquels se meuvent les induits, il en résulte finalement que tout décalage des balais de l'excitatrice réagit aussitôt sur les génératrices pour augmenter ou diminuer leur puissance.

(1) Les mots *vertical* et *horizontal* se rapportent à la machine elle-même, et non pas au diagramme figure 87 : il faudrait, dans ce cas, les intervertir.

Le régulateur de M. Maxim est un appareil qui change *automatiquement* le calage des balais et proportionne à chaque instant la puissance du champ magnétique des génératrices au nombre de foyers alimentés. Bien qu'excellent en principe, l'appareil ne rend pas en pratique tous les services exigés par une distribution à cause de la lenteur de son action.

A propos de la *distribution de l'électricité*, nous ferons connaître les solutions plus complètes qui ont été proposées dans le cas d'une distribution *générale* pour toutes les applications, avec des récepteurs variables par leur nombre, leur puissance, leur nature et les applications auxquelles ils sont destinés. Les résultats déjà acquis montrent que la division de la lumière et du courant ne présente plus aujourd'hui de difficultés sérieuses, et l'on peut espérer qu'avant quelques années cet éclairage sera devenu une des nécessités de la vie domestique, comme il devient chaque jour un auxiliaire de plus en plus indispensable à l'industrie. Le passé répond ici de l'avenir.

TROISIÈME PARTIE

TÉLÉPHONES ET MICROPHONES PHOTOPHONES ET RADIOPHONES

On désigne sous le nom général de *téléphone* tout appareil permettant de transmettre à distance un son quelconque, mélodie, bruit, chant, voix humaine, etc.

On peut cependant, avec M. Preece, diviser ces appareils en deux grandes classes, eu égard aux résultats obtenus :

1° Les *téléphones musicaux* (*tone telephone*) sont les instruments employés pour la transmission des sons mélodiques; ce sont des appareils historiques, naturellement incomplets et incapables de reproduire les nuances délicates des sons de toute nature.

2° Les *téléphones d'articulation* (*articulating telephone*), ou téléphones proprement dits, sont ceux employés pour la transmission de la voix humaine et des sons de toute nature.

Les microphones, comme nous le verrons plus tard, se rangent tout naturellement dans les téléphones, et il n'y a pas lieu d'en faire une classe distincte.

Comme les téléphones musicaux sont les premiers dans l'ordre historique et qu'ils sont les plus simples, c'est par eux que nous commencerons l'étude des appareils téléphoniques.

Dans un chapitre spécial, nous étudierons quelques appareils téléphoniques dans lesquels le transmetteur, le récepteur, et quelquefois même la ligne, se présentent dans des conditions si singulières qu'on ne pourrait leur trouver une place bien définie dans une classification méthodique.

CHAPITRE I

TÉLÉPHONES MUSICAUX

C'est à l'année 1837 qu'il faut faire remonter le principe des téléphones musicaux. A cette époque, un physicien américain, *Page*, découvrit que la rapide aimantation et désaimantation de barres de fer produisait ce qu'il appelait de la *musique galvanique*. Le son émis par la barre de fer dépendait du nombre d'aimantations et de désaimantations produites dans une seconde.

De la Rive, de Genève, en 1843, augmenta les effets des *vibrations de Page*, — comme on désigne quelquefois ce phénomène, — en employant des fils de grande longueur placés dans des bobines.

Plus tard, *Sullivan* découvrit que la vibration d'un fil composé de deux métaux engendrait un courant électrique qui durait autant que la vibration elle-même, mais cette découverte ne reçut aucune application pratique et serait tombée dans l'oubli sans les recherches de M. *Bell* au moment où il prépara l'histoire des travaux antérieurs à sa merveilleuse invention. En 1855, M. *Léon Scott de Martinville* imagina un appareil auquel il donna le nom de *phonautographe*, qui se composait en principe d'une peau tendue vibrant sous l'influence de la voix, du chant, d'un bruit quelconque. Cet appareil était destiné à l'inscription *graphique* des vibrations. C'est l'origine de la plaque vibrante du téléphone.

Téléphone musical de M. Reis. — En 1860, M. Reis imagina un appareil permettant de faire parvenir à de grandes distances la mélodie qui ne devait être entendue qu'en un lieu déterminé.

Cet appareil est une combinaison heureuse des vibrations de Page et de la membrane du phonautographe de Scott. Le dispositif adopté par M. Reis est représenté par les deux figures ci-après. La figure 88 montre l'appareil de transmission, la figure 89 celui de réception. A la station où est joué l'air musical

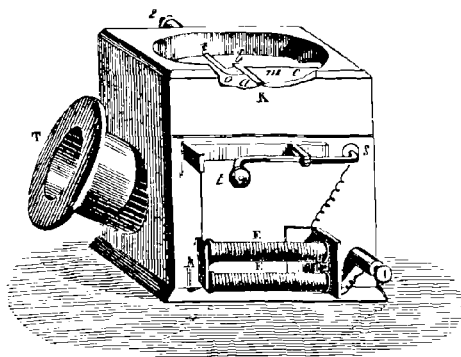


Fig. 88. — Transmetteur du téléphone Reis.

K, Boîte pour recueillir les vibrations ; — *m*, membrane de caoutchouc fermant la boîte (on a découpé la partie supérieure de la boîte) ; — *o*, disque de platine collé sur la membrane ; — *abc*, levier mobile, portant par la pointe sur la membrane ; — *ts*, clefs de manipulation pour la correspondance ; — *EE*, électro-aimant récepteur, pour la correspondance ; — *2, 1*, vis de pression pour attacher les fils de communication avec la pile et avec la ligne ; — *T*, embouchure.

(fig. 88), un gros tube *T* débouchant dans une boîte *K* reçoit les vibrations de l'air produites par l'instrument. La boîte a pour effet de recueillir et de renforcer le son. A la partie supérieure est tendue une membrane *m* qui vibre à l'unisson des ébranlements qu'elle reçoit. Pour transformer les mouvements de cette membrane en des émissions et des interruptions cadencées d'un courant électrique, il suffit d'établir un jeu de communications facile à concevoir.

Supposons qu'une pile, dont l'un des pôles est la terre, soit attachée par l'autre électrode avec le bouton marqué **2** sur la figure ; de là, un conduit métallique formé par une mince lame

de cuivre *i* et aboutissant à un disque de platine *o* amène le courant en face d'une pointe portée par le levier *abc*. Chaque fois que la membrane *m* sera soulevée, la pointe touchant le disque, le courant sera établi ; il sera interrompu au contraire lorsque la membrane reviendra au repos.

Pour transmettre à une distance quelconque, 100, 200, 500 kilomètres, le courant électrique, il faut une ligne partant du bouton 1 (fig. 87) et rattachée au bouton 3 (fig. 88), qui représente l'appareil de réception. Ce dernier est constitué par une tige de fer *dd* autour de laquelle sont enroulées des spires de fil de cuivre isolées les unes des autres, une des extrémités du fil

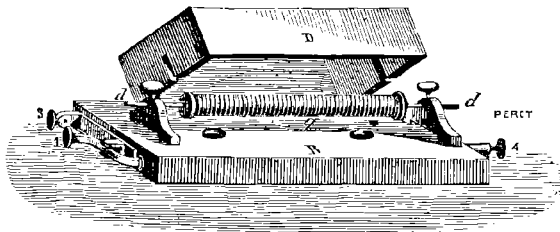


Fig. 89. — Récepteur du téléphone Reis.

B. Boîte pour renforcer les vibrations. — D. Couverture de cette boîte ; — *dd*, fil de fer vibrant par le passage du courant ; — *g*, bobine à travers laquelle passe le courant ; — *t's'*, clef de manipulation pour la correspondance ; — 1, 2, 3, vis de pression pour attacher les fils de communication avec la pile et avec la ligne.

aboutit au bouton 3 et l'autre à la terre par la vis 4 afin de compléter le circuit de la pile du poste de départ.

La tige *dd* a la dimension d'une aiguille à tricoter ; la bobine *g*, constituée par l'assemblage du fil enroulé et de la tige, est portée sur une boîte creuse B dont les parois sont très minces. Au-dessus est un couvercle D ; l'ensemble de ce dispositif a pour but de renforcer les vibrations que produisent les interruptions successives du courant à travers la tige *dd*. On les perçoit ainsi plus nettement par l'artifice qui augmente l'intensité des notes données par les cordes d'un piano, lorsque la caisse a une résonance convenable.

Pour donner au téléphone toute sa valeur, il faut étudier la

forme à donner à la boîte K ; les meilleures dispositions trouvées jusqu'à présent consistent à recourber les parois afin d'amplifier l'effet sur la membrane par des réflexions successives. On a réussi aussi à augmenter la puissance du récepteur en introduisant dans la bobine plusieurs tiges de fer ; le son, primitivement nasillard, a acquis un timbre plus agréable.

L'appareil de M. Reis que nous venons de décrire fut successivement perfectionné par M. *Yeates*, M. *Van der Weyde*, MM. *Cécil* et *Léonard Wray*, tout en restant cependant un appareil purement musical, de même que le téléphone musical d'*Elisha Gray*.

Tous ces appareils sont aujourd'hui dépassés par le téléphone d'articulation que nous allons maintenant étudier, mais nous devons signaler encore un appareil assez original par la forme de son récepteur et qui rentre, par la nature des résultats qu'il produit, dans la classe des téléphones musicaux. Nous voulons parler du condensateur chantant.

Condensateur chantant. — Le principe de cet appareil est dû à *C. Varley*, qui le découvrit dès 1870, mais il a été combiné d'une manière très simple par MM. *Pollard* et *Garnier* qui lui ont donné une forme pratique.

Le récepteur se compose d'un condensateur formé de trente feuilles de papier superposées, de 9 centimètres sur 13, entre lesquelles sont intercalées vingt-huit feuilles d'étain de 6 centimètres sur 12 réunies de manière à constituer les deux armatures du condensateur. A cet effet, les feuilles paires sont réunies ensemble à l'un des bouts du cahier de papier et les feuilles impaires à l'autre bout. En appliquant ce système sur un carton rigide, après avoir eu soin de le ligaturer avec une bande de papier, et en serrant les feuilles d'étain réunies aux deux bouts du condensateur avec deux garnitures de cuivre, munies de boutons d'attache pour les fils du circuit, on obtient ainsi un appareil qui joue le rôle d'un véritable chanteur.

L'appareil transmetteur se compose d'une sorte de téléphone sans manche, dont la lame vibrante est constituée par une lame

de fer-blanc très mince, au centre de laquelle est soudé un morceau cylindrique de charbon : contre ce charbon appuie un autre cylindre de la même matière, qui est porté par une traverse de bois, articulée, d'un côté, sur le bord inférieur de la boîte du téléphone, et fixée de l'autre côté, au moyen d'une vis de réglage. Un ressort arqué (un bout de ressort de pendule), placé en travers de cette pièce, lui donne une certaine élasticité sous son serrage, élasticité nécessaire pour le fonctionnement de l'appareil.

La lame de fer est mise en rapport avec un des pôles d'une pile, et le charbon inférieur correspond à l'hélice primaire d'une bobine d'induction déjà reliée au second rôle de la pile. Enfin, les deux bouts de l'hélice secondaire de la bobine sont reliés directement aux deux armatures du condensateur.

Pour obtenir le chant sur le condensateur, il faut régler le transmetteur de manière que les deux charbons ne se touchent pas à l'état normal, mais soient assez près l'un de l'autre pour que, en chantant, les vibrations de la plaque puissent effectuer des contacts suffisants. On arrive facilement à ce réglage par le tâtonnement et en émettant une même note jusqu'à ce que le condensateur résonne. Si trois notes faites successivement sont bien reproduites, l'appareil peut être considéré comme suffisamment réglé, et pour le faire fonctionner il suffit d'enfoncer la bouche dans l'embouchure, comme on le fait quand on chante dans un mirliton. Il faut, pour obtenir un bon résultat, que l'on entende la lame de l'appareil vibrer à la manière des flûtes à l'oignon.

Des perfectionnements nouveaux ont permis de transformer le condensateur en un véritable téléphone d'articulation ; c'est le *condensateur parlant*. Nous y reviendrons dans le chapitre consacré aux téléphones spéciaux. Tous les téléphones musicaux ne sont plus considérés aujourd'hui que comme des objets de curiosité ou des appareils de cabinets de physique ; aussi ne nous y arrêterons-nous pas davantage, mais il était utile de leur consacrer quelques pages, car ils ont devancé, et en quelque sorte préparé la découverte des téléphones d'articulation.

CHAPITRE II

TÉLÉPHONES D'ARTICULATION

OU TÉLÉPHONES PARLANTS

C'est l'admirable appareil du professeur *Graham Bell* qui a résolu le premier, par des procédés d'une merveilleuse simplicité, le problème de la transmission électrique de la parole à distance. Le téléphone de *Bell*, breveté par son inventeur le 14 février 1876, a paru pour la première fois à l'Exposition de Philadelphie, et le célèbre physicien anglais, sir *William Thomson*, à une époque où l'invention rencontrait bien des incrédules, a signalé l'appareil de *M. Bell*, en le désignant sous le nom de *merveille des merveilles*. Avant d'analyser les travaux qui ont conduit *M. Bell* à sa découverte, il convient de passer rapidement en revue les travaux antérieurs et l'état de la question au moment où l'heureux inventeur poursuivait ses recherches.

Téléphone à ficelle. — Si nous laissons de côté les tuyaux acoustiques qui ne constituent en quelque sorte qu'une canalisation de la voix humaine dans un tuyau, le premier téléphone digne de ce nom est le *téléphone à ficelle* dont l'invention remonte à plus de deux siècles déjà.

Comme nous le verrons par la suite, le problème de la téléphonie se résume en ceci : Faire vibrer synchroniquement, par un moyen quelconque, deux objets placés à une certaine distance.

Le moyen le plus simple est de prendre deux tubes cylindriques en métal ou en carton, de disposer à une des extrémités de chacun d'eux une membrane en papier, parchemin ou carton mince et de relier les deux lames vibrantes ainsi constituées par une ficelle fixée au centre par un nœud.

Lorsque la ficelle qui réunit les deux parties est bien tendue, qu'elle n'est pas trop longue, si l'on applique l'un des tubes contre l'oreille et qu'une seconde personne parle très près de l'embouchure de l'autre tube, toutes les paroles sont transmises par la ficelle à la membrane du récepteur et l'on peut converser presque à voix basse par ce moyen.

Il y a ainsi transmission *mécanique* des vibrations et mouvement synchronique des deux membranes.

La parole peut ainsi être transmise jusqu'à deux cents mètres. Les téléphones à ficelle sont restés longtemps dans l'oubli et n'ont été remis à la mode que pendant ces dernières années.

C'est M. *Charles Bourseul* qui émit pour la première fois, en 1854, l'idée de transmettre électriquement la parole à distance, et M. le comte du Moncel déclare, dans son ouvrage sur le téléphone, que cette idée fut regardée alors comme un rêve fantastique.

Depuis la note de M. Bourseul, jusqu'au téléphone de M. Bell qui parut pour la première fois à l'Exposition de Philadelphie en 1876, la plupart des recherches aboutissent à la création des téléphones musicaux. Les recherches de Helmholtz sur la synthèse des sons ouvrirent la voie aux téléphones d'articulation.

Nul d'ailleurs n'était mieux préparé que M. *Graham Bell* pour entreprendre cette étude et l'amener au but avec le succès que l'on sait; car l'invention du téléphone est le résultat d'une longue suite de travaux que M. Graham Bell partageait déjà avec son père M. *Alexandre Melville Bell*, d'Édimbourg. Il commença par l'étude des sons des voyelles, fit des expériences parallèles à celles d'Helmholtz sur la reproduction artificielle des voyelles au moyen de diapasons électriques, combina un harmonica électrique à clavier, un Morse à audition ou *sounder*, et

enfin se livra tout entier à l'étude de la reproduction électrique de la parole. L'ensemble des recherches de M. Graham Bell sur le téléphone a fait l'objet d'un mémoire que l'auteur a lu devant la Société des ingénieurs télégraphistes de Londres, le 31 octobre 1877.

Après un exposé impartial de l'ensemble des recherches antérieures faites dans la même direction par ses prédécesseurs, et des considérations générales sur les courants ondulatoires qui ne sauraient trouver place ici, l'inventeur expose ainsi la première forme de téléphone qu'il avait imaginée :

L'appareil représenté figure 90 fut ma première forme de téléphone articulé. Dans cette figure, une harpe à tige d'acier est attachée aux pôles d'un

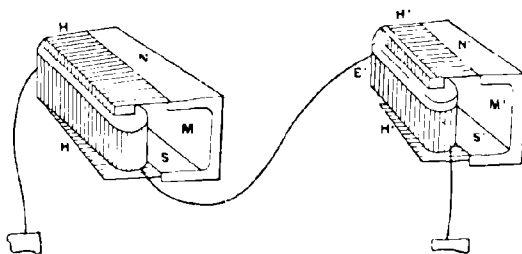


Fig. 90. — Première forme du téléphone d'articulation de M. Bell.

aimant permanent NS. Lorsque l'une quelconque des tiges est mise en vibration, un courant ondulatoire est produit dans les bobines de l'électro-aimant; l'électro-aimant correspondant E' attire les tiges de la harpe H' avec une force variable, et met en vibration celle des tiges qui se trouve à l'unisson de la tige qui vibre à l'autre extrémité du circuit. Ce n'est pas tout : l'amplitude de vibration dans l'une des tiges détermine l'amplitude de vibration dans l'autre, car l'intensité du courant induit est déterminée par l'amplitude de la vibration inductrice, et l'amplitude de la vibration à l'extrémité de réception dépend de l'intensité des impulsions attractives. Lorsque nous chantons devant un piano, certaines cordes de l'instrument sont mises en vibration avec sympathie par l'action de la voix, et, à différents degrés d'amplitude, un son approché de la voyelle proférée part du piano. La théorie nous fait voir que si le piano avait un nombre beaucoup plus considérable de cordes à l'octave, les sons de voyelles seraient parfaitement reproduits. Mon idée de l'action de l'appareil, action indiquée figure 90, était la suivante : proférer un son dans le voisinage de la harpe H', et certaines tiges seraient mises en vibration à des amplitudes différentes. A l'autre extrémité du circuit, les tiges correspondantes de la harpe H' vibre-

raient avec leurs relations propres de force, et le *timbre* du son serait reproduit. La dépense de la construction d'un semblable appareil m'empêcha de m'engager dans cet ordre de recherches.

Après avoir passé en revue les premiers appareils qu'il construisit pour reproduire la parole à distance, M. Bell décrit l'appareil qui fut exposé à Philadelphie en 1876.

Dans cet appareil, le transmetteur ou parleur (fig. 91) était constitué par un électro-aimant E et une membrane vibrante M

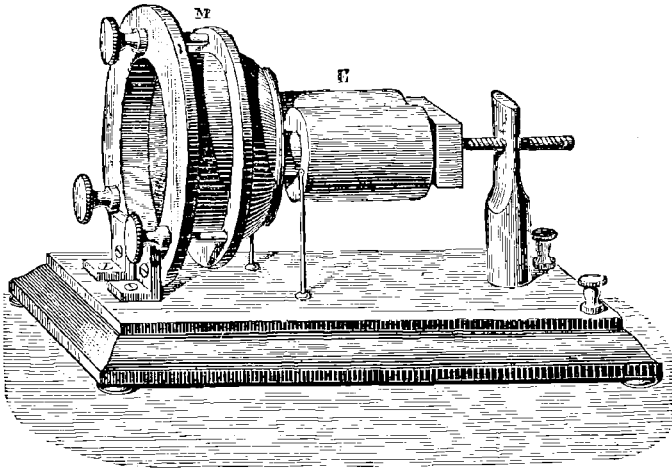


Fig. 91. — Télégraphe parlant de M. Bell à l'exposition de Philadelphie (transmetteur).

sur laquelle M. Bell plaçait, en guise d'armature, des ressorts de pendule de la grandeur de l'ongle d'un pouce. Le récepteur (fig. 92) était formé d'un électro-aimant tubulaire de Nicklès F sur lequel était fixée par une vis une légère armature en tôle, de l'épaisseur d'une feuille de papier fort, qui agissait comme vibreur, un petit pont placé sur le socle formant caisse sonore.

Remarquons cependant que cet appareil, ainsi constitué, n'était pas un téléphone électro-magnétique, car on disposait dans le circuit reliant les deux appareils une pile de quelques éléments. Le son n'était transmis que par une sorte de variation produite

par l'armature sur le courant de la pile traversant l'électro-aimant E du transmetteur. Cet appareil permit à M. Bell et à son ami M. Watson d'obtenir des transmissions téléphoniques qui leur indiquèrent la bonne voie.

« Je me souviens, dit M. Bell dans sa conférence, d'une expérience faite alors avec ce téléphone, qui me remplit de joie. Un des deux appareils était placé à Boston dans une des salles des conférences de l'Université, l'autre dans le soubassement d'un bâtiment adjacent. Un de mes élèves observait ce dernier appareil, et je tenais l'autre. Après que j'eus prononcé ces mots :

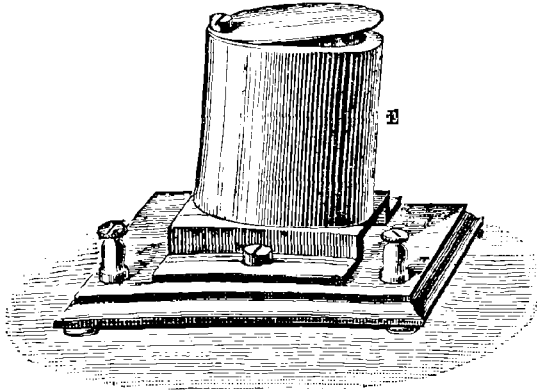


Fig. 92. — Récepteur du téléphone Bell à l'exposition de Philadelphie.

« *Comprenez-vous ce que je dis?* » quelle a été ma joie quand je pus entendre moi-même cette réponse à travers l'instrument : « Oui, je vous comprends parfaitement. » Certainement l'articulation de la parole n'était pas alors parfaite, et il fallait l'extrême attention que je prêtai pour distinguer les mots de cette réponse; cependant l'articulation de ces mots existait, et je pouvais croire que leur manque de clarté devait être rapporté uniquement à l'imperfection de l'instrument. »

Le grand défaut du récepteur était qu'il ne pouvait servir d'appareil transmetteur ; il fallait donc deux appareils à chaque station. Après une longue série d'expériences, M. Bell supprima la pile et employa pour noyau magnétique un aimant permanent.

C'est le premier téléphone magnétique (fig. 93) qui fut présenté à l'Institut d'Essex, à Salem, dans le Massachusetts, le 12 février 1877.

Il n'y a plus qu'un pas à faire pour arriver au téléphone Bell tel que nous le connaissons sous sa forme pratique et portable.

Mais avant de le décrire et de passer en revue les différents téléphones au point de vue de leurs principes et de leur construction, nous devons dire quelques mots de la part qui revient à M. *Elisha Gray* dans l'invention du téléphone, et nous n'avons pas ici de meilleur guide que M. du Moncel, qui a suivi pas à

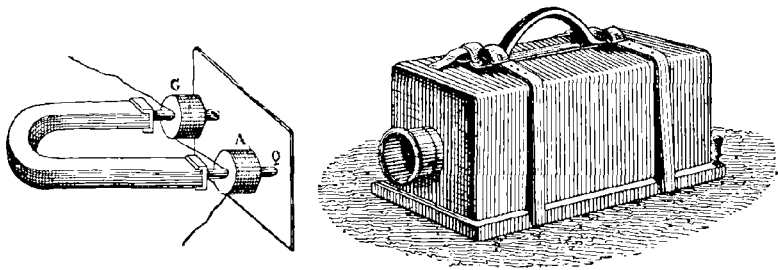


Fig. 93. — Téléphone de M. Bell, modèle avec transmetteur et récepteur identiques.

pas les nombreux travaux qui ont déjà été faits sur la question.

Par une coïncidence remarquable, dont nous avons déjà eu un exemple à propos du principe des machines dynamo-électriques, le dépôt des brevets de M. Bell et de M. Gray a été effectué *le même jour*, le 14 février 1876, et tous deux signalaient l'importance et la nécessité des courants ondulatoires pour la transmission électrique de la parole ou des sons combinés.

Dans l'appareil breveté par M. Gray, les courants ondulatoires nécessaires à la transmission téléphonique étaient obtenus en faisant varier la résistance électrique du circuit, et, par suite, l'intensité du courant dans ce circuit.

Le transmetteur de M. Bell et celui de M. Gray sont identiques comme principe et analogues comme construction.

Nous reproduisons, figure 94, le diagramme du transmetteur de M. Bell, dans lequel un fil de platine attaché à une membrane tendue complétait le circuit voltaïque en plongeant dans de l'eau. Les vibrations de la membrane modifiaient la résistance du transmetteur et par suite l'intensité du courant. C'est le principe du téléphone à *pile* dont le téléphone à charbon d'Edison et le microphone sont des perfectionnements qui ont rendu pratique le téléphone à pile.

En réalité, le problème a été poursuivi et résolu par les deux inventeurs, mais par des procédés très différents; tandis que

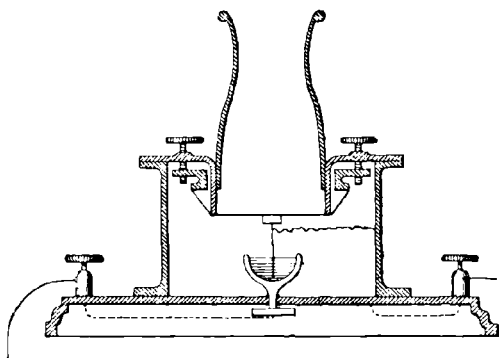


Fig. 94. — Premier modèle du transmetteur à liquide de M. Bell.

M. Gray s'est attaché à constituer un téléphone à pile et un transmetteur à liquide, M. Bell a construit, le premier, un téléphone magnétique sans pile.

Classification des téléphones. — Le nombre des téléphones de différents systèmes augmente chaque jour, mais, malgré l'infinie variété de ces appareils, on peut les diviser en deux classes bien distinctes :

- 1° Les téléphones sans pile ou téléphones magnétiques ;
- 2° Les téléphones à pile.

C'est dans cette dernière classe que viennent se ranger les transmetteurs à charbon et les microphones.

TÉLÉPHONES MAGNÉTIQUES

Dans un appareil téléphonique, quel qu'il soit, on trouve toujours deux parties bien distinctes :

1° Le *transmetteur*, appareil qui transforme les paroles émises devant lui en courants ondulatoires envoyés dans la ligne ;

2° Le *récepteur*, qui, comme son nom l'indique, reçoit les courants ondulatoires et les transforme de nouveau en vibrations sonores.

Le premier fait qui caractérise les téléphones magnétiques consiste en ce que les deux parties, transmetteur et récepteur, sont *identiques*, et peuvent jouer alternativement les deux rôles aussi facilement. Il résulte de ce fait qu'un système de téléphone magnétique complet se réduit à deux appareils, tandis que les téléphones à piles, dont nous parlerons plus loin, en emploient quatre, deux pour chaque poste.

Le premier et le plus simple de tous les téléphones magnétiques est le téléphone de M. Bell dont nous avons déjà vu les transformations successives au début de ce chapitre.

Téléphone de M. Bell. — Le téléphone de M. Bell (fig. 95), sous la dernière forme que lui a donnée l'inventeur, se compose d'une petite boîte en bois ou en ébonite munie d'un manche qui renferme l'aimant placé en regard de la plaque vibrante et qui forme en même temps la poignée de l'instrument. Une vis placée à l'extrémité de ce manche sert à rapprocher ou à éloigner l'aimant de la plaque vibrante, ce qui constitue le *réglage* de l'instrument. A l'extrémité du barreau se trouve la bobine dont la grosseur de fil et le nombre des spires doivent être proportionnés à la longueur de la ligne pour produire les meilleurs effets.

La plaque vibrante, qui n'a pas plus de 5 centimètres de diamètre dans sa partie libre, et une épaisseur de un à deux dixièmes de millimètre, est découpée dans une feuille de tôle et recouverte de vernis ou d'étain pour en prévenir l'oxydation.

Elle est maintenue sur la boîte par sa circonférence : à cet effet la boîte se compose de deux parties que l'on maintient, soit par des vis, soit par un pas de vis qui permet de fixer l'embouchure en forme d'entonnoir très évasé sur la boîte, en pinçant directement la lame entre les deux parties.

Le fonctionnement de l'appareil est bien connu : nous le rappellerons en quelques mots. En parlant devant l'embouchure d'un téléphone, la plaque vibre ; par ses mouvements, elle modifie la distribution des lignes de force autour du barreau aimanté, et, par suite, fait naître des courants induits dans la bobine placée à son extrémité. Le téléphone est donc bien un *générateur d'électricité*, générateur d'une délicatesse merveilleuse, modulant l'intensité des courants qu'il engendre pour leur faire suivre

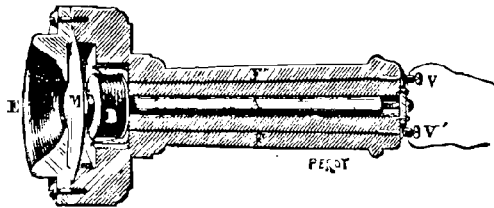


Fig. 95. — Téléphone Bell. Modèle à main ordinaire.

toutes les ondulations si variables et si compliquées qui caractérisent les sons articulés. Ces courants ondulateurs, ainsi développés dans un premier téléphone par les vibrations de la plaque, arrivent par deux conducteurs à un second téléphone qui les transforme de nouveau en vibrations sonores.

Pour une première explication, — inexacte en ce sens qu'elle est incomplète, mais que nous compléterons ultérieurement, — nous pouvons admettre que les courants ondulateurs, c'est-à-dire de sens alternativement renversés, arrivent dans le téléphone récepteur, augmentent le magnétisme du barreau s'ils circulent dans les bobines dans un sens favorable à l'aimantation, le diminuent s'ils sont en sens inverse ; la plaque obéit à ces changements d'aimantation, se rapproche ou s'éloigne davantage, et, par cette action, ondulateur comme les courants qui la provo-

quent, vibre à l'unisson de la plaque du téléphone transmetteur, bien qu'avec des déplacements infiniment plus petits.

Les transformations successives qui s'effectuent dans l'intervalle du temps inappréciable qui sépare l'instant où la vibration sort de la gorge de l'interlocuteur, de celui où elle vient frapper l'oreille de l'auditeur, sont intéressantes à énumérer.

Elles sont au nombre de sept :

1° La vibration de l'air met la plaque du transmetteur en mouvement. — 2° Ce mouvement change la répartition magnétique du barreau aimanté. — 3° Ce changement dans la répartition magnétique développe des courants induits dans la bobine du transmetteur. — 4° Ces courants induits traversent la ligne et la bobine du téléphone récepteur. — 5° Ces courants provoquent des changements dans le magnétisme du barreau aimanté du récepteur. — 6° Ces changements de magnétisme agissent sur la plaque et la font vibrer. — 7° Les vibrations de la plaque se communiquent à l'air et viennent frapper le tympan de l'oreille de l'auditeur.

N'y a-t-il pas là une des plus belles preuves de l'équilibre et de l'unité des forces de la nature, équilibre si bien établi que l'on ne peut produire un changement, si faible qu'il soit, dans l'une d'elles, sans provoquer aussitôt des changements correspondants dans toutes les autres. L'effort développé par l'émission d'une vibration sonore est bien petit, et cependant le téléphone en représente l'écho à 300, 400 kilomètres de distance !

On a greffé sur le téléphone de M. Bell une foule d'appareils qui ne sont le plus souvent que des modifications sans valeur comme sans importance. Nous ne pouvons examiner tous ces appareils, — déjà au nombre d'une centaine ; — nous nous contenterons seulement de décrire quelques modifications qui ont donné en pratique des résultats supérieurs à la disposition primitivement adoptée par l'inventeur, et qui ont permis d'entendre la parole d'une façon plus distincte et plus puissante, en se plaçant, dans certains cas, à une certaine distance de l'appareil récepteur. Ne perdons pas de vue cependant que les télé-

phones magnétiques que nous allons décrire ne constituent en aucune façon une découverte ou une invention nouvelle, mais simplement un *perfectionnement* dont nous aurons, dans chaque cas, à apprécier l'importance et la valeur.

Téléphone de M. Gower. — Le téléphone de M. Gower constitue un sérieux perfectionnement apporté au téléphone de M. Bell, car il a permis de faire parler le récepteur assez haut pour être entendu dans toute une salle. Rappelons cependant que M. Bell avait obtenu en partie ce résultat dans la mémorable expérience de Salem.

Dans l'appareil de M. Gower représenté figure 96, l'aimant

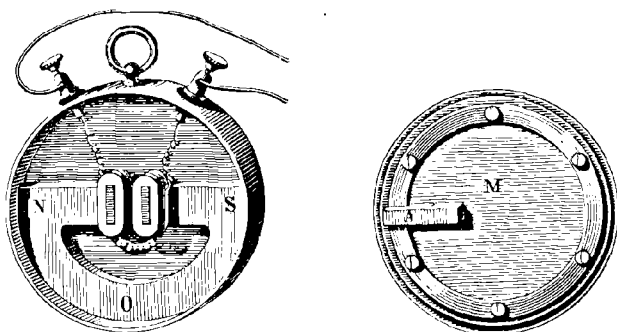


Fig. 96. — Téléphone de M. Gower.

NOS agit par ses deux pôles. Chacun d'eux supporte une petite pièce de fer oblongue sur laquelle est fixée la bobine. Le tout est enfermé dans une boîte plate en laiton, dont le couvercle porte la membrane vibrante dont l'épaisseur est un peu plus grande que celle des appareils construits jusqu'ici : elle est maintenue sur le couvercle par une couronne et quelques vis réparties sur la circonférence.

M. Gower emploie, au lieu de l'embouchure téléphonique ordinaire, des tuyaux acoustiques souples, comme ceux des porte-voix.

Pour l'avertissement, M. Gower se sert d'un tube recourbé à angle droit, ouvrant par un bout sur le dessus de la membrane

et par l'autre dans la boîte ; ce tube contient une anche vibrante. En soufflant dans le tuyau acoustique, l'anche vibre, et par communication solide fait vibrer la plaque du téléphone plus qu'on ne pourrait le faire en criant dans l'embouchure. Ces vibrations intenses produisent des courants induits puissants qui se traduisent dans le récepteur par des vibrations correspondantes, et par suite font entendre un bruit assez fort.

Le timbre particulier du son contribue d'ailleurs à le ren-

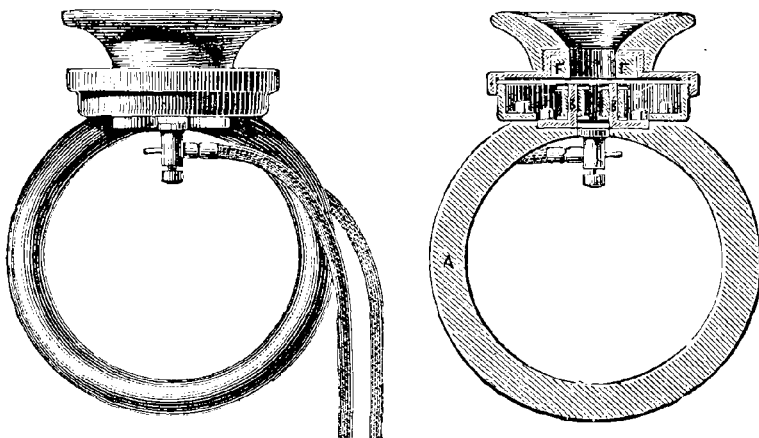


Fig. 97. — Élévation et coupe longitudinale du téléphone Ader.

dre facilement perceptible au milieu d'un certain bruit ambiant.

En munissant l'appareil d'un grand cornet résonnateur, on peut entendre la parole à distance. L'addition sur la membrane du tube A contenant l'anche vibrante ne trouble en aucune façon la netteté de la transmission.

Téléphone récepteur de M. C. Ader. — Le récepteur de M. C. Ader (fig. 97) est un téléphone magnéto-électrique, dont l'aimant est recourbé en forme de cercle et sert en même temps de poignée à l'instrument. On voit sur la coupe (fig. 97) l'aimant A, les deux noyaux B B fixés aux deux pôles et sur lesquels sont roulées deux bobines. Jusqu'ici ce récepteur est

analogue au téléphone Gower. M. Ader a ajouté à ce téléphone un anneau en fer doux F placé en avant de la plaque vibrante, auquel il a donné le nom de *surexcitateur*. Le diamètre de cet anneau est tel que les parties diamétralement opposées soient en regard des noyaux B B. La présence de ce surexcitateur a pour effet de modifier la nature du fantôme magnétique et de concentrer les lignes de force au lieu de leur laisser une direction *divergente*. Le téléphone est rendu ainsi plus puissant et plus sen-

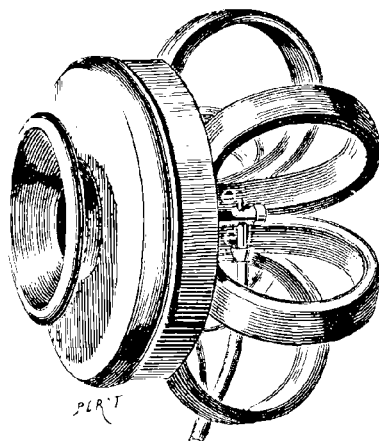


Fig. 98. — Crown-téléphone de M. Phelps.

sible aux nuances si délicates des ondulations qui constituent le timbre de la voix humaine.

Crown-téléphone. — Dans ce modèle de téléphone, le barreau droit du téléphone de Bell est remplacé par six aimants recourbés en anneau et disposés de telle sorte que les pôles nord, par exemple, correspondent au noyau et les autres pôles touchent le bord extérieur du diaphragme (fig. 98). Par ce moyen, on renforce considérablement le champ magnétique et l'instrument est très puissant. Cette disposition est due à un Américain, M. Phelps. Son nom lui vient de sa forme même qui lui donne l'aspect d'une couronne.

Pony-Crown-téléphone. — Ce modèle, dû aussi à

M. Phelps, n'est autre chose qu'un téléphone de Bell dont l'aimant est recourbé en forme de cercle (fig. 99). On y retrouve l'embouchure en ébonite E, la plaque P, un petit cylindre de fer doux G fixé sur l'aimant et formant le noyau de la bobine B.

Cet appareil ne présente rien de spécial que sa forme très commode qui permet de l'appliquer à l'oreille ou de le suspendre très facilement lorsqu'il n'est pas en service. C'est le modèle

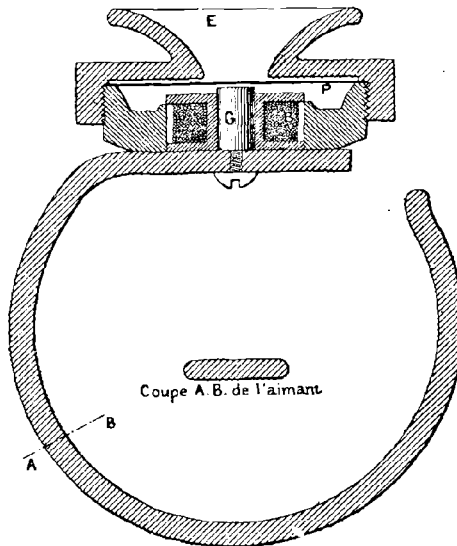


Fig. 99. — Pony-Crown-téléphone.

le plus employé dans les communications téléphoniques par le système Edison.

Téléphone d'Arsonval. — Dans cet appareil (fig. 100), l'auteur a cherché à placer la bobine dans la partie où le champ magnétique est le plus intense ; il se sert à cet effet d'un électro-aimant annulaire ; l'un des pôles de l'aimant forme le noyau, le second pôle constitue une bague ; la bobine vient se loger dans le vide entre les deux pôles. La boîte qui supporte le diaphragme est simplement pincée entre l'aimant et le noyau central ; il suf-

fit de visser l'embouchure pour fixer la plaque vibrante. Ce récepteur fort léger et fort puissant transmet ou répète très nettement la parole sans en altérer sensiblement le timbre, à cause des faibles dimensions de la plaque vibrante.

Téléphone à aimant circulaire. — Ce modèle, récemment adopté par la Société générale des téléphones pour ses postes simplifiés, se compose (fig. 101) d'une bague en acier portant deux pas de vis sur lesquels se fixent le fond et l'embouchure. Cette

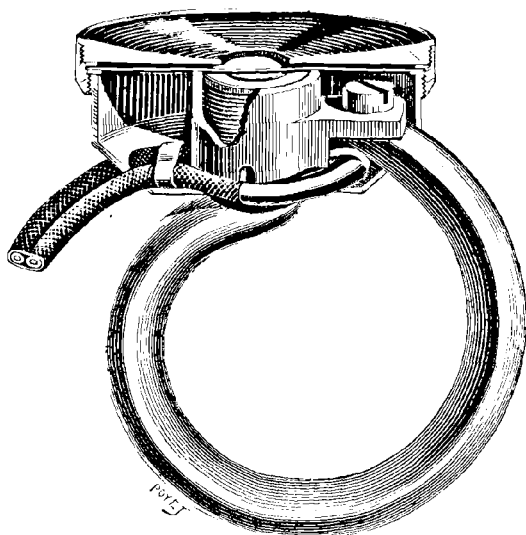


Fig. 100. — Téléphone magnétique de M. d'Arsonval.

bague d'acier est aimantée de façon à présenter ses deux pôles en deux points diamétralement opposés, comme les aimants circulaires des boussoles de M. Duchemin. Aux points où se trouvent les pôles sont fixées deux bandes de fer doux repliées en équerre sur lesquelles se fixent les bobines, comme dans le Gower ou l'Ader. L'anneau fixé sur le fond de l'appareil sert à la fois à le tenir et à le suspendre. Le montage se trouve ainsi réduit à sa plus simple expression.

Le *téléphone-tabatière* n'est autre chose qu'un téléphone Bell

dans lequel l'aimant est roulé en spirale, faisant un tour sur lui-même, ce qui le rend peu volumineux et très portatif.

En adaptant sur le côté de cette boîte un manche en bois de

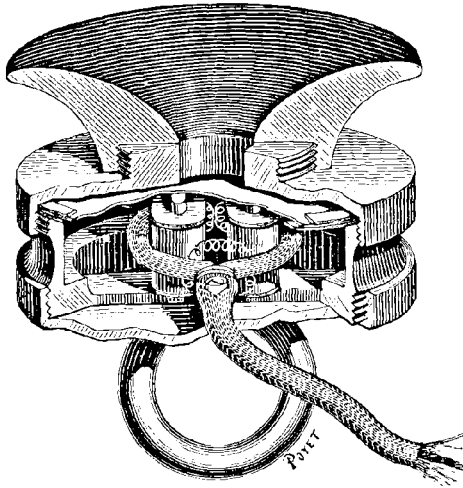


Fig. 101. — Téléphone récepteur à aimant circulaire.

quelques centimètres, l'appareil se transforme en *téléphone*, *miroir*, etc.

TÉLÉPHONES A PILE.

Dans les téléphones magnétiques, le parleur agit comme un véritable générateur d'électricité : c'est le travail mécanique de la voix dont une partie se transforme en courants d'induction qui, envoyés dans le récepteur, le font vibrer synchroniquement avec la membrane du parleur. Il résulte de ce fait que les courants envoyés dans la ligne ont une intensité limitée, et que, dans aucun cas, le récepteur ne pourra émettre de sons aussi puissants que ceux émis devant le parleur.

Il n'en est pas de même dans les téléphones à pile. Dans ces appareils, les vibrations du transmetteur ne sont plus utilisées à *produire* des courants électriques, mais à *distribuer* convena-

blement ceux venant d'une source constante : leur puissance n'est donc limitée que par celle de la source employée.

Tous les transmetteurs des téléphones à pile sont fondés sur le même principe : utiliser les vibrations d'une *plaque* ou d'une *pièce quelconque* pour faire varier la résistance électrique d'un circuit et, par suite, modifier dans un certain rapport l'intensité du courant électrique qui le traverse.

Ce principe général suppose donc que le transmetteur est composé d'une matière spéciale, à résistance variable, disposée plus ou moins ingénieusement dans le circuit et modifiant sa résistance sous l'influence des vibrations que ce transmetteur reçoit. Il en résulte une classification très simple des transmetteurs à pile, dépendant de la nature de la substance qui intervient pour constituer la résistance variable.

On distingue trois classes de transmetteurs téléphones à pile :

1° Les *transmetteurs à liquides*, dans lesquels on fait usage d'un liquide pour constituer la résistance variable ;

2° Les *transmetteurs à arc voltaïque*, dans lesquels on emploie une mince couche d'air et des courants de haute tension ;

3° Les *transmetteurs à charbon* ou plus généralement à *matières solides*, les seuls importants et pratiques, parmi lesquels viennent se ranger les transmetteurs microphoniques ou *microphones*.

Transmetteurs à liquides. — Les transmetteurs à liquides sont, au point de vue historique, les plus anciens téléphones articulés. Nous avons vu que, dès l'année 1876, MM. *Bell* et *Gray* avaient imaginé un appareil reproduisant la parole en faisant varier la résistance d'une couche liquide placée entre deux pointes de platine. C'est ce qu'avait fait aussi très grossièrement et sans succès M. *Yeates*, de Dublin, dès 1865, en voulant perfectionner le téléphone musical de *Reis*.

Aux États-Unis, M. *Richemond* a breveté dès 1877 un téléphone à liquide analogue à celui de M. *Bell* (page 225) et auquel il a donné le nom d'*electro-hydro-téléphone*.

Le 18 février 1878, M. *Salet* a présenté à l'Académie des

sciences un téléphone à transmetteur à liquide dans lequel un petit levier d'aluminium en communication avec la pile était fixé à la plaque vibrante et portait à son extrémité une petite lame de platine ; à une très faible distance de celle-ci s'en trouvait une seconde en relation avec la ligne. Une couche liquide se trouvait interposée entre les deux plaques. Les vibrations de la membrane déterminent, dans l'épaisseur de la couche liquide traversée par le courant, et par suite dans l'intensité de celui-ci, des variations, lesquelles en occasionnent de semblables dans la force attractive du récepteur.

MM. *J. Luvin* et *Carlo Besio*, de Gênes, ont imaginé aussi des téléphones analogues comme principe. Tous ces appareils n'ont qu'un intérêt scientifique et ne sont pas employés dans la pratique.

Transmetteurs à arc voltaïque. — Ces téléphones ont été imaginés dans le but d'obtenir des variations de résistance plus grandes qu'avec les liquides pour une même amplitude de vibration du diaphragme, mais l'emploi de grandes résistances telles que celles des conducteurs gazeux impose aussi l'emploi de courants de haute tension.

M. *Trouvé*, qui a combiné le premier téléphone de ce genre, conseille l'emploi de ses éléments à rondelles humectées de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc ; il en dispose quatre ou cinq cents en série pour obtenir une tension suffisante.

Ces appareils, comme les transmetteurs à liquides, sont restés sans application.

TRANSMETTEURS A CHARBON ET MICROPHONES.

L'invention du premier *transmetteur à charbon* est due à *Edison* qui le construisit dès l'année 1876, tout au commencement de la découverte de *Graham Bell*. Le premier *microphone*, de date plus récente, est dû à M. *Hughes*, l'inventeur du télégraphe imprimeur, qui l'a montré pour la première fois en janvier 1878 aux fonctionnaires de la *Submarine Telegraph Company*.

Le principe que MM. Edison et Hughes ont appliqué les premiers à la transmission électrique des vibrations sonores — nous prenons à dessein ce mot vague et général — a été découvert, en 1856, par M. le comte du Moncel.

A la suite de nombreuses recherches sur les interrupteurs électriques, M. du Moncel a constaté que la *pression exercée au point de contact entre deux corps conducteurs appuyés l'un sur l'autre pouvait influencer considérablement sur l'intensité électrique développée.* (Il faudrait, pour être correct, dire : *sur la résistance.*)

Cette variation au point de contact est d'autant plus grande que les conducteurs présentent plus de résistance, qu'ils sont plus ou moins durs et qu'ils sont plus ou moins bien décapés. Le principe découvert par M. du Moncel fut appliqué en 1865 par M. Clérac, fonctionnaire des lignes télégraphiques, à un rhéostat à charbon formé d'un tube rempli de plombagine dans lequel un disque mobile, formant électrode, pouvait, en pressant plus ou moins la plombagine, faire varier, dans un rapport assez grand, la résistance de cette substance.

Téléphone à charbon d'Edison. — Le transmetteur à charbon d'Edison a reçu un grand nombre de formes depuis le premier appareil construit en 1876.

Il se compose actuellement d'une embouchure (fig. 102) en ébonite, d'une lame vibrante et d'un disque de charbon préparé, de la grandeur d'une pièce d'un franc, placé sur un support qu'on peut à volonté écarter ou rapprocher de la plaque vibrante à l'aide d'une vis disposée sur la face postérieure du parleur. Une petite plaque de platine surmontée d'un bouton en ivoire, en forme de goutte de suif, vient s'appliquer sur la face supérieure de la pastille de charbon.

Les vibrations de la plaque se transmettent à la pastille par la petite plaque de platine, les variations de pression produites par les vibrations font varier la résistance électrique de cette pastille de charbon intercalée dans le circuit d'une pile et d'un récepteur (téléphone magnétique de Bell, Phelps, Ader, etc.), et le font vibrer synchroniquement. En pratique cependant, le cou-

rant de la pile transformé par le parleur en courant ondulatoire n'est pas envoyé *directement* dans le récepteur, mais il est localisé, traverse le fil inducteur d'une petite bobine d'induction, et c'est le fil *induit* qui est en communication avec le téléphone récepteur du poste opposé. Avant d'aller plus loin, nous devons faire connaître les raisons de cette disposition spéciale.

Emploi des courants induits dans les téléphones à pile. — Le rôle du transmetteur dans les téléphones à pile se réduit, comme nous l'avons vu, à faire varier la résistance élec-

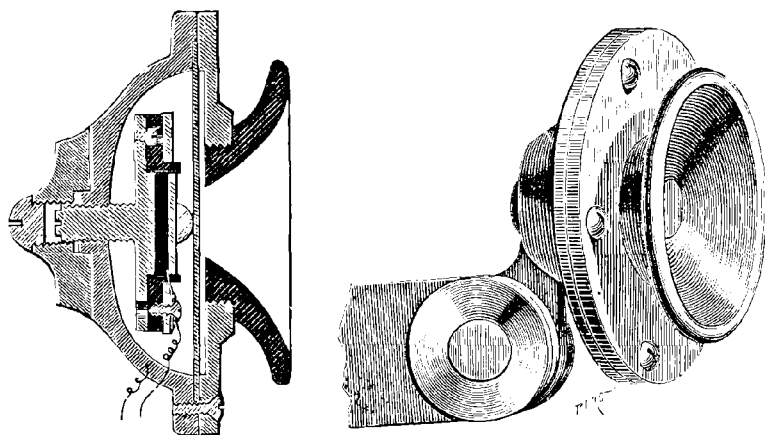


Fig. 102. — Transmetteur à charbon d'Edison (modèle 1877). Coupe et perspective.

trique du circuit, variation qui se traduit aussitôt par une variation proportionnée, et en sens inverse, dans l'intensité du courant qui le traverse.

Pour une vibration donnée, le changement dans la résistance du circuit aura une valeur fixe donnée, que nous supposons être de *un ohm*, pour fixer les idées. Si le circuit total a une faible résistance, *dix ohms* par exemple, la variation de *un ohm* produite dans le transmetteur fera varier l'intensité de *un dixième* de sa valeur totale, et par suite le téléphone récepteur, qui agit sous l'influence des variations d'intensité, vibrera énergiquement et parlera avec une certaine puissance. Si, au contraire, la

résistance totale du circuit est grande, mille *ohms* par exemple, les variations d'intensité ne seront plus que de un millième de l'intensité totale, intensité que l'allongement de la ligne aura elle-même affaiblie dans une grande proportion.

Il faudrait donc, pour obtenir un effet aussi puissant que dans le premier cas, augmenter le nombre des éléments de la pile ainsi que les variations de résistance, par la multiplication des disques de charbon, par exemple ; mais leur nombre ne peut pas être augmenté indéfiniment, car ils introduisent dans le circuit leurs résistances propres qui viennent contrebalancer l'avantage résultant de contacts multiples. A un moment donné, il y a équilibre, et en augmentant trop leur nombre, l'effet devient plus nuisible qu'utile.

La difficulté a été habilement vaincue par M. *Edison* en employant une disposition appliquée déjà en 1874 par M. *Elisha Gray* à son téléphone musical. Au lieu d'envoyer le courant du transmetteur directement sur la ligne, M. *Edison* lui fait traverser seulement le *gros fil* d'une bobine d'induction sans trembleur. Le fil fin ou fil induit correspond avec la terre par une de ses extrémités ; la seconde est attachée à la ligne, traverse le téléphone du poste récepteur et va à la terre. Le transmetteur n'agit plus que sur une faible résistance, représentée seulement par la pile, le transmetteur et le fil inducteur ; ses variations de résistance ont alors une assez grande valeur relative : elles se traduisent dans le fil inducteur par des variations correspondantes d'intensité et, dans le fil induit, par des courants d'induction d'une amplitude proportionnelle. Mais, d'autre part, comme nous l'avons vu à propos du rôle des bobines d'induction, les courants développés dans le fil induit acquièrent dans la bobine une tension qui leur permet de franchir de grandes résistances, et cette propriété a permis de *téléphoner* à des distances considérables avec le courant de trois piles Leclanché.

Voici maintenant comment fonctionne le téléphone *Edison*. Les courants d'intensité variable *modulés* par le transmetteur traversent le fil inducteur, et eu égard à la faible résistance totale

du circuit, font varier l'intensité entre des limites assez éloignées : ces courants ondulatoires influencent alors le récepteur comme dans le téléphone Bell.

La pastille de charbon qui constitue l'âme du transmetteur mérite une mention spéciale. Elle est fabriquée à l'aide du noir de fumée provenant de la combustion de lampes à pétrole à mèche trop longue dans un espace à peu près clos. On agglomère ensuite ce noir de fumée en le comprimant *légèrement* sous une presse à balancier. On en forme ainsi une pastille assez friable, mais d'une solidité suffisante lorsqu'elle est prise entre les deux plaques de platine qui la maintiennent, et d'une sensibilité extrême au point de vue de la variation de sa résistance électrique avec la pression.

Électrophone de M. Ader. — Le transmetteur est constitué par une sorte de porte-crayon mobile en bois terminé par une soucoupe devant laquelle on parle. L'extrémité de ce porte-crayon se termine par un petit cylindre de charbon arrondi à son extrémité et qui appuie sur un second morceau de charbon fixe de plus grande section. Le courant traverse le charbon fixe, le petit crayon mobile et sort par un fil très fin et très élastique pour rejoindre la ligne. En maintenant l'appareil vertical, on rompt le circuit ; en l'agitant, on produit des chocs qui se traduisent sur le récepteur par des bruits intenses pouvant être entendus à une assez grande distance ; en tenant l'appareil un peu incliné, il y a un léger contact entre les deux charbons et la transmission téléphonique directe, sans bobine d'induction, s'effectue très nettement et avec une grande puissance.

Le récepteur est un tambour de basque de 15 à 18 centimètres de diamètre, tendu d'une feuille de parchemin, sur lequel sont fixées six petites armatures en fer-blanc très minces et très étroites disposées sur un cercle de 6 centimètres de diamètre.

En face de ces armatures sont placés six petits électro-aimants microscopiques, chacun d'eux pouvant être réglé séparément à l'aide d'une vis. Les six petits électro-aimants sont tous disposés

en tension et agissent simultanément sur leurs armatures dans le même sens avec une très grande rapidité.

Avec ce récepteur, la parole peut être entendue à 5 ou 6 mètres de distance en employant le transmetteur que nous avons décrit, mais le réglage en est fort difficile, parce que la membrane est trop sensible à la chaleur et à l'humidité.

Transmetteur de M. Blake. — Ce système constitue un parleur assez puissant très employé aujourd'hui en Angleterre, avec les courants induits et le téléphone Bell comme récepteur. Le contact à résistance variable est constitué par deux organes mobiles indépendants du diaphragme et toujours en contact léger l'un avec l'autre. On remplace la rigidité d'une des parties par son inertie en fixant le charbon sur une masse pesante, la seconde partie du contact est formée par un petit grain de platine pressé légèrement contre le charbon par un petit ressort. Le contact des deux pièces n'étant jamais rompu, il n'y a pas de crachements résultant de la rupture et du rétablissement brusques du circuit.

Microphone de M. Hughes. — Le *microphone* n'est autre chose qu'un transmetteur téléphonique de forme spéciale, mais il doit son nom, qui lui a été donné par M. Hughes, son inventeur, aux *résultats* qu'il permet d'obtenir.

Le microphone est en réalité un appareil *amplificateur* des vibrations mécaniques de faible intensité qu'il transforme en courants ondulatoires. Ces courants ondulatoires envoyés dans un téléphone récepteur produisent très souvent des vibrations sonores d'une intensité beaucoup plus grande que la cause qui leur a donné naissance. Il joue donc en acoustique, par rapport aux sons faibles, le rôle que le microscope joue en optique par rapport aux petits objets.

L'appareil le plus simple employé par M. Hughes dans ses nombreuses recherches est représenté figure 103. Deux clous A sont fixés sur une planchette horizontale, à la distance d'environ un millimètre l'un de l'autre. Les fils X et Y fixés à ces clous, conduisent à une pile B et à un téléphone, de sorte que l'inter-

valle des clous forme la seule interruption dans le circuit. En posant un troisième clou en travers des deux premiers, le courant passe par les points de contact des deux clous qui forment deux contacts imparfaits auxquels l'appareil doit toute sa sensibilité : ce système constitue un transmetteur téléphonique parfait. Des paroles dites, des airs chantés à ce petit clou, qui peut danser sur les deux autres au son de l'articulation et de la note émises, sont instantanément transmis au récepteur, à l'autre extrémité de la ligne, avec une puissance et une netteté merveilleuses.

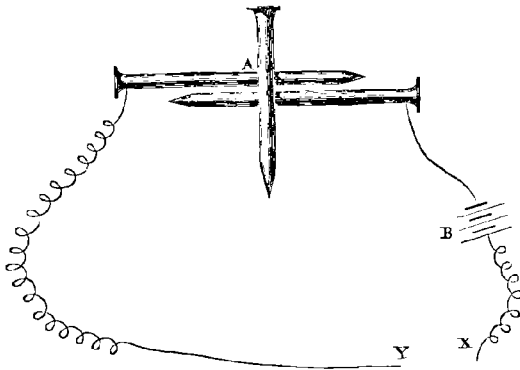


Fig. 103. — Microphone élémentaire.

L'effet produit est encore meilleur avec des baguettes de charbon.

Mais l'appareil le plus sensible que le professeur Hughes ait construit, et qui est resté, sauf des modifications peu importantes, le microphone *classique*, est représenté figure 104.

Il consiste en un petit crayon de charbon de cornue A terminé en pointe à chacune de ses extrémités ; il est légèrement soutenu dans une position verticale entre deux godets creusés dans deux petits dés de charbon CC', fixés contre une table mince d'harmonie posée sur un plateau solide D (fig. 104). Ces dés CC' sont reliés à la pile et au fil de ligne qui conduit au téléphone. Cet instrument, dans sa grossière ébauche, est d'une surprenante et merveilleuse délicatesse.

Il convertit en bruits sonores, non seulement les notes de musique et les paroles, mais les vibrations les plus faibles et les bruits même imperceptibles. Le coup le plus léger, le moindre contact contre le plateau suffit pour produire dans le téléphone un grincement bruyant. La pointe d'un pinceau promenée sur le plateau, la chute d'une petite balle de coton, produisent un véritable vacarme dans le récepteur ; la promenade d'un insecte

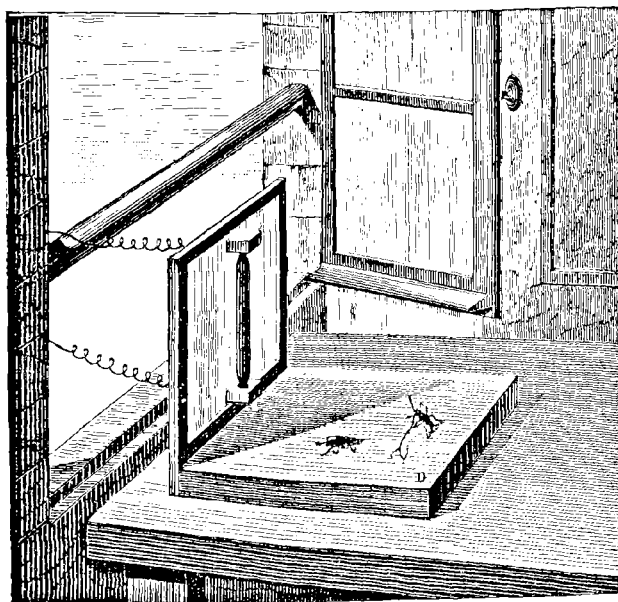


Fig. 104. — Microphone de M. Hughes. Audition à distance du bruit produit par la marche d'insectes.

ou d'une mouche sur le plateau D est perçue avec une netteté parfaite par une personne dont l'oreille est placée contre le téléphone placé à distance.

Effets produits dans le microphone. — Nous pouvons nous rendre compte maintenant des différences, assez légères du reste, qui caractérisent le transmetteur à charbon d'Edison, et le microphone sous la forme simple que lui a donnée M. Hughes.

Dans les deux appareils, l'action téléphonique ou microphonique est produite par des *variations de résistance électrique* résultant des vibrations communiquées au transmetteur.

Dans le téléphone à charbon d'Edison, ces vibrations agissent sur une plaque qui vient exercer des pressions variables sur un disque peu consistant ; dans le microphone de M. Hughes, les vibrations agissent pour changer les points et les surfaces de contact.

Il y avait donc lieu, à l'origine, de considérer les appareils d'Edison et de M. Hughes comme deux inventions distinctes autant par les effets produits que par les procédés employés à les produire.

Une série d'appareils est venue, depuis, combler la ligne de démarcation qui séparait ces deux inventions au moment de la découverte de M. Hughes. Aujourd'hui la distinction n'est plus toujours facile à faire, l'on peut désigner sous le nom générique de *transmetteurs à charbon* tous les microphones et parleurs microphoniques dont on avait fait, dans le principe, deux classes distinctes.

On conçoit facilement comment le microphone de M. Hughes peut transmettre les bruits les plus faibles en les amplifiant, si l'on examine ce qui se passe dans un *contact microphonique*. Prenons par exemple l'insecte marchant sur la planche du microphone (fig. 104).

Chaque pas effectué par l'animal produit un petit mouvement mécanique, qui n'est pas de nature à impressionner l'oreille, mais qui agit sur le contact microphonique, déplace, change les points de contact, ce qui se traduit par des variations d'intensité du courant. Ces petits déplacements mécaniques sont d'autant plus faciles à effectuer que le crayon de charbon est dans un équilibre plus instable, et, en pratique, il faut proportionner cette sensibilité à la nature des sons que l'on veut transmettre. Les dispositions des transmetteurs à charbon sont innombrables ; nous ne signalerons que les principales ; on verra par ces quelques exemples que leur nombre peut varier à l'infini.

Citons d'abord pour mémoire les microphones de MM. *Ducretet, Trouvé, Varey*, etc. On y retrouve toujours le charbon vertical enchâssé dans deux petits cubes de charbon, comme dans l'appareil original de Hughes. On s'est ensuite attaché à la multiplicité des contacts pour augmenter la sensibilité des transmetteurs, et les appareils que nous allons décrire maintenant sont

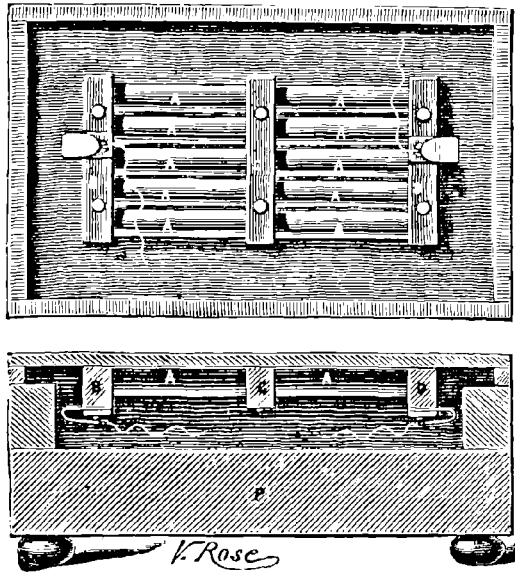


Fig. 105. — Vue en dessous et coupe longitudinale du transmetteur de M. Ader disposé sur un socle en plomb pour les auditions théâtrales téléphoniques.

ceux qui, jusqu'ici, ont donné les résultats les plus satisfaisants dans cette voie.

Le microphone de *Crossley*, très employé en Angleterre, se compose de quatre crayons de charbon disposés en losange sur une plaque vibrante horizontale devant laquelle on parle à une certaine distance. Il a été employé à Paris concurremment avec le transmetteur Ader.

Transmetteur de M. C. Ader. — Ce microphone est aujourd'hui de beaucoup le plus employé en France. C'est celui qui a fonctionné à l'Exposition pour les auditions théâtrales télépho-

niques, et qui remplace les transmetteurs à charbon d'Edison sur le réseau de la Société générale des téléphones. La figure 105 le représente en coupe longitudinale et en vue en dessous.

Il se compose de dix petits crayons de charbon AA disposés en deux séries de cinq et s'appuyant par leurs extrémités sur trois traverses BCD en charbon fixées sur une petite planchette en sapin qui reçoit les vibrations et sert en même temps de couvercle à l'appareil. Il est assujéti sur un socle en plomb P supporté par quatre pieds en caoutchouc, afin d'empêcher les trépidations du plancher de la scène d'arriver jusqu'au transmetteur.

Cette précaution est essentielle, surtout à l'Opéra où, pendant la danse, le plancher fortement ébranlé produirait dans le système des craquements fort désagréables. Grâce à la disposition imaginée par M. C. Ader, les secousses s'emmagasinent dans les pieds en caoutchouc et, à cause de l'inertie de la masse de plomb, ils ne parviennent pas au transmetteur qui n'est alors influencé que par les ondes sonores de l'air. (Voy. page 284.)

Transmetteur microphonique de MM. Paul Bert et d'Arsonval. — Dans ce transmetteur tous les contacts sont montés en *quantité*. Chaque contact se fait séparément avec une grande légèreté qui assure la sensibilité, le courant se divise entre tous les contacts qui constituent autant de microphones séparés et diminuent la résistance proportionnellement à leur nombre. MM. Paul Bert et d'Arsonval ont construit plusieurs modèles de ces microphones. Dans les uns le réglage s'effectue par la poussée d'un liquide, le mercure, comme dans le téléphone Hopkins à un seul contact (1); dans d'autres, on emploie des ressorts, ou des attractions magnétiques qui constituent un ressort sans poids, dans d'autres enfin la pesanteur. La figure 106 représente ce dernier système. Il se compose d'une caisse de résonance semblable à celle des instruments à corde ou d'une simple planchette légère d'ébonite ou de sapin qui porte la série des contacts.

(1) Voir 1^{re} édition, page 263.

Ces contacts consistent en une série de petits cylindres de charbon nickelés qui, enfilés sur un axe commun métallique, pendent verticalement sur une des faces de la boîte. Leur mouvement est indépendant, et chacun d'eux vient s'appuyer sur une baguette transversale de charbon à lumière servant de collecteur et qui reçoit les vibrations de la caisse de résonance ou de la planchette. La pression de ces crayons sur le collecteur est plus ou moins forte suivant l'inclinaison qu'on donne à la caisse, qui peut être montée sur un pied à charnière, ou suspendue dans une salle par les

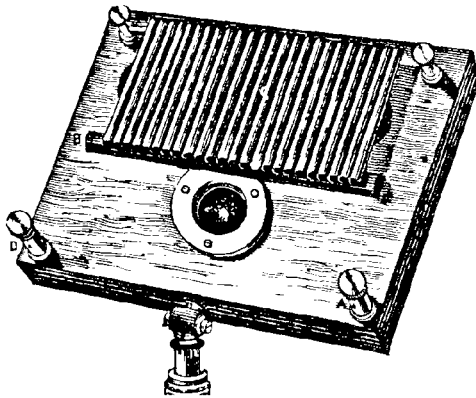


Fig. 106. — Microphone de MM. Paul Bert et d'Arsonval.

Charbons C, enfermés dans des tubes nickelés. Les vibrations de la parole sont transmises au centre par un tube muni d'un pavillon. — Sur une boîte de résonance sont enfilés les crayons métalliques C qui reposent sur le charbon B. Le courant entre par A, traverse C, où il se divise, et ressort en A.

deux fils qui lui amènent le courant. Le nombre des contacts peut être aussi grand qu'on le désire, ainsi que les dimensions de la caisse.

Microphone de M. Boudet de Paris. — Dans ce système, les contacts sont montés en tension, au lieu d'être établis en *dérivation* comme dans l'appareil précédent. Ce transmetteur représenté figure 107 se compose d'une embouchure E fixée à l'extrémité d'un tube de verre T d'un centimètre de diamètre, fixé lui-même sur un pied à genou, ce qui permet de faire prendre à l'ensemble de l'appareil toutes les inclinaisons.

L'embouchure porte une plaque d'ébonite de 1 millimètre d'épaisseur, sur laquelle est fixée une masse de cuivre M^1 qui pénètre un peu dans le tube de verre. Dans ce tube se trouvent six boules de charbon de cornue d'un diamètre un peu plus petit, de façon à pouvoir s'y mouvoir très librement.

Le microphone est complété par une seconde masse de cuivre M^2 s'appuyant sur le fond d'une culasse creuse K , par l'intermédiaire d'un petit ressort en spirale non représenté sur la figure. La vis V fixée sur l'étrier Q sert à régler la pression de la masse M^2 contre les boules. Les variations de résistance du microphone se produisent également sur tous les contacts des

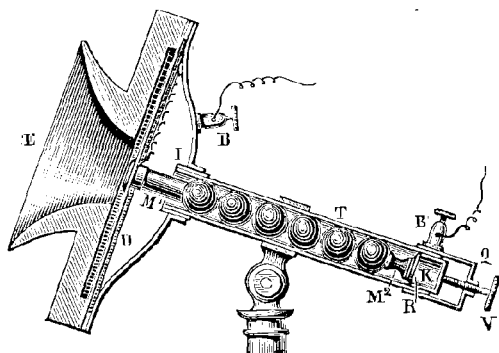


Fig. 107. — Microphone de M. le Dr Boudet de Paris.

boules, parce que, en parlant devant l'embouchure, les vibrations se transmettent presque instantanément, comme dans l'expérience bien connue des billes de billard.

Transmetteurs divers. — Nous devons arrêter là notre description de transmetteurs microphoniques; pour être complète, elle exigerait un volume. Les modifications apportées aux appareils ont d'ailleurs porté sur tous les points.

Pour concentrer les vibrations, M. Maiche a employé une sorte de grande cloche en verre, un globe de pendule, couché sur le côté. On parle devant l'ouverture et les vibrations se transmettent à un contact microphonique reposant sur la partie supérieure.

Dans le *pantéléphone* (?) de M. *Locht-Labye*, la parole met en vibration une plaque de liège suspendue à deux ressorts très légers; le contact microphonique est formé par une pastille de charbon collée sur cette plaque et un butoir fixe, en cuivre ou en platine, contre lequel elle vient s'appliquer.

On a essayé aussi de remplacer le charbon par d'autres substances. M. C. *Herz* a étudié dans ce but des métaux réduits en poudre et agglomérés, par un moyen chimique, avec une sorte de ciment non conducteur. Les résultats ne paraissent pas avoir été ni meilleurs ni moins bons qu'avec le charbon.

Nous avons vu jusqu'ici deux modes de montage des transmetteurs microphoniques; le premier consiste à placer le transmetteur dans le même circuit que la pile, la ligne et le récepteur; le second consiste à faire traverser le courant de la pile au fil inducteur d'une bobine d'induction, et à mettre la ligne en relation avec le fil induit.

M. C. *Herz* a étudié un troisième mode de montage qui paraît lui avoir donné de bons résultats. Ce montage consiste à disposer le transmetteur et la ligne *en dérivation* sur la source électrique. D'après les lois des courants dérivés, on sait que le courant se partage en raison inverse des résistances qu'il rencontre; en faisant varier la résistance de la dérivation sur laquelle est établi le transmetteur, on modifie donc le courant qui traverse la ligne et le récepteur.

Le montage en circuit simple, c'est-à-dire celui qui consiste à disposer le microphone, la pile, le récepteur et la ligne à la suite les uns des autres sur un même fil, ne convient que pour les lignes très courtes et les expériences de laboratoire; pour les lignes un peu longues, l'expérience décidera du choix à faire entre le système à bobine d'induction et le système à dérivation.

Il est très difficile de formuler une opinion relativement à la valeur des transmetteurs microphoniques que nous venons de décrire. Chacun a des qualités spéciales qui en recommandent l'emploi suivant les applications qu'on a en vue, aussi ne faut-il

pas s'étonner de voir chaque inventeur prétendre, — avec raison, — que son appareil est *le meilleur*. Chacun d'eux est en réalité le meilleur lorsqu'on l'applique dans les conditions les plus favorables à son bon fonctionnement.

Avant de passer en revue les différentes applications du téléphone, nous allons examiner, sous le titre de *téléphones spéciaux*, une série d'appareils dans lesquels les actions téléphoniques sont produites par des phénomènes d'un ordre tout différent de ceux que nous avons examinés jusqu'ici. Cet examen nous permettra d'établir une théorie plus complète des actions multiples en jeu dans les transmissions téléphoniques, et de bien définir le rôle de chacun des organes qui constituent ces merveilleux instruments.

CHAPITRE III

TÉLÉPHONES SPÉCIAUX

Dans tous les téléphones décrits jusqu'à présent, nous trouvons toujours un transmetteur, magnétique à charbon ou microphonique, envoyant dans la ligne un courant *ondulatoire*, et ce courant ondulateur agissant sur un téléphone récepteur dans lequel nous retrouvons toujours, comme parties essentielles : 1° une plaque vibrante ; 2° un noyau aimanté et quelquefois un électro-aimant ; 3° une bobine.

Aucun de ces organes n'est *indispensable* à la réception des sons articulés dans le téléphone ; certains appareils récepteurs n'emploient même *aucun* de ces trois organes.

Les principes sur lesquels s'appuient les récepteurs sont aussi souvent fondés sur des actions très différentes des actions magnétiques : tantôt ce sont des actions physiologiques, comme dans le récepteur de Gray, tantôt des actions chimiques, comme dans l'électro-motograph d'Edison, etc., etc. Nous examinerons rapidement les plus importants et les plus originaux de ces appareils.

Téléphones sans plaque vibrante. — La première simplification que peut recevoir le téléphone de Bell consiste dans la suppression de la plaque vibrante. Pour obtenir des effets distincts, il faut employer un transmetteur à charbon et les courants induits. La parole est cependant très faible.

A côté de ces téléphones sans diaphragme, il convient de placer

les expériences d'*Antoine Breguet*, dans lesquelles il a augmenté l'épaisseur du diaphragme jusqu'à *quinze* centimètres sans enlever au téléphone sa puissance et ses facultés d'articulation. Dans l'un il n'y a pas de plaque, dans l'autre il y en a trop, et le téléphone articule dans un cas comme dans l'autre.

Le diaphragme dans le téléphone *récepteur* n'est donc pas indispensable, mais est très utile, car il accroît dans une très grande mesure la puissance des sons émis par ce récepteur.

Téléphones sans diaphragme et sans aimant. — La présence d'un noyau aimanté dans le téléphone récepteur n'est

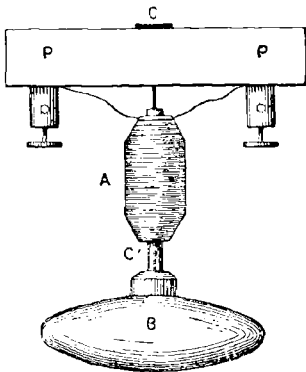


Fig. 108. — Téléphone sans diaphragme et sans aimant de M. Ader.

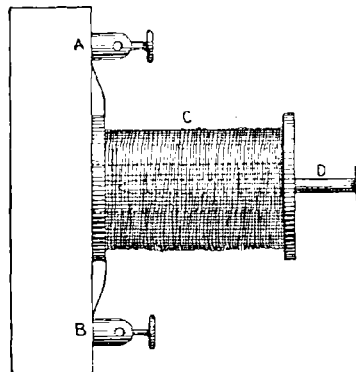


Fig. 109. — Téléphone sans noyau de fer de M. Ader.

pas indispensable, car M. Ader a construit un récepteur formé d'un loquet de porte B (fig. 108), d'une tige de fer doux d'un millimètre de diamètre CC', plantée dans une planchette carrée de sapin de 5 centimètres de côté et d'une petite bobine A roulée sur un tuyau de plume d'oie. Le transmetteur peut être quelconque. On peut, avec ce petit instrument, faire une expérience de *spiritisme* assez amusante, en fichant le fil de fer CC' dans une table, par dessous, en dissimulant habilement les conducteurs et en faisant parler dans le transmetteur un compère placé dans une pièce un peu éloignée. Si l'expérience est faite dans le silence, à une heure avancée de la nuit, par exemple, toute la

table parle, on peut l'entendre en se plaçant assez près tout autour, et cette expérience produit l'effet le plus singulier sur les personnes crédules ou impressionnables.

Un second récepteur encore plus simple (fig. 109) est formé d'une planchette AB et d'une bobine C collée sur la planchette sur laquelle est roulé un fil avec des spires très peu serrées. L'appareil parle dans ces conditions sous l'action d'un transmetteur à charbon et de trois piles Leclanché. Si les spires sont trop serrées ou noyées dans la gomme laqué, le téléphone ne parle plus, mais en introduisant dans la bobine un clou D, un petit fil de fer ou une aiguille aimantée venant appuyer contre la planchette, on perçoit aussitôt très distinctement la parole. En retirant le clou, le téléphone redevient muet.

Téléphone sans diaphragme, sans aimant et sans bobine. — Le téléphone récepteur ci-contre est encore plus simple. Il se compose d'une tige de fer doux A (fig. 110) et d'une planchette de bois B. En appliquant la

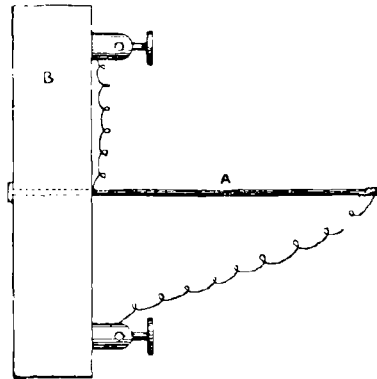


Fig. 110. — Téléphone à fil de fer de M. Ader.

planchette B contre l'oreille et une masse métallique pesante à l'autre extrémité du fil A, M. Ader a pu reproduire la parole en employant un transmetteur à charbon. De la Rive, en 1846, avait constaté les sons produits dans des conditions analogues avec des courants *interrompus*, mais M. Ader est le premier qui ait reproduit les sons articulés par des moyens aussi simples.

Téléphone thermique de M. Preece. — M. *Wiesendanger*, en septembre 1878, rapportait la reproduction de la parole, dans certains téléphones, à des mouvements vibratoires provenant de dilatations et contractions moléculaires déterminées par des variations d'échauffement résultant des courants d'in-

tensité variable transmis à travers les circuits téléphoniques : on lui faisait une objection tirée de la lenteur des phénomènes caloriques dont l'action matérielle ne serait pas assez prompte pour produire des vibrations.

M. Preece a repris ces études, et, après une série de tâtonnements, est arrivé à construire un véritable *téléphone thermique* formé d'un fil de platine de sept ou huit centièmes de millimètre de diamètre et 13 centimètres de longueur, fixé par l'une de ses extrémités à un support et par l'autre à un disque en carton ou une plaque vibrante. L'appareil simple de M. Preece fonctionne avec un parleur à charbon d'Edison ; les effets sont dus à la rapidité avec laquelle les fils fins gagnent et perdent leur température, et à la sensibilité extrême à la dilatation des fils fins de grande résistance électrique.

Microphones transmetteurs employés comme récepteurs. — M. Preece attribue à des causes analogues les phénomènes observés pour la première fois par M. Hughes, peu de temps après la découverte du microphone. M. Hughes montra que le microphone était réversible, comme le téléphone magnétique, c'est-à-dire capable de transmettre ou de recevoir les vibrations. Il n'y a donc plus ici ni plaque, ni bobine, ni aimant, ni fil magnétique. Rien que deux morceaux de charbon à chaque poste reliés par deux conducteurs avec une pile intercalée dans le circuit. L'expérience est à la vérité assez délicate, mais elle réussit fort bien avec un microphone sensible.

MM. Pollard et Garnier ont pu aussi faire parler leur transmetteur à charbon de la même manière, et M. Carlo Resio, de Gênes, est parvenu à faire parler un *transmetteur à liquide* comme récepteur. Il est impossible d'expliquer exactement, dans l'état actuel de la science, ce qui se passe dans ces transmissions téléphoniques.

Microphone parleur-transmetteur de M. Blyth. — Dans une boîte plate de 30 centimètres de longueur sur 20 de largeur, M. Blyth dispose des charbons échappés à la combustion et désignés en Angleterre sous le nom de *cinders gas*, deux

plaques de fer-blanc aux extrémités de cette boîte remplie de cinders gas, et le microphone est constitué. D'après M. Blyth, en plaçant deux microphones semblables sur le circuit d'une pile de deux éléments de Grove on peut entendre la parole émise devant l'un de ces microphones, l'autre fonctionnant comme récepteur.

M. du Moncel a modifié l'appareil de Blyth en employant des fragments de coke un peu gros et deux électrodes, l'une en zinc, l'autre en cuivre. En mettant de l'eau dans la boîte et en attachant les deux électrodes de l'appareil ainsi constitué aux deux bornes d'un téléphone Bell, on constitue un système téléphonique dans lequel *la pile sert de transmetteur*. Les variations de résistance intérieure dues aux légers mouvements du charbon dans cette singulière *pile-microphone* produisent les courants ondulatoires qui se transforment en paroles articulées dans le récepteur.

Électro-motograph d'Édison. — Dans ce téléphone, nous n'avons à signaler que le récepteur, car le transmetteur n'est autre que le transmetteur à charbon d'Édison.

Examinons d'abord le principe de l'appareil qui a permis à Édison de construire l'*électro-motograph*. Trempons une feuille de papier buvard dans une solution saturée de potasse et plaçons-la sur une plaque métallique, reliée au pôle positif d'une pile composée de deux ou trois éléments Leclanché. En promenant à la surface du papier une lame de platine de 1 centimètre de largeur environ et en exerçant sur cette lame une certaine pression, nous sentirons une *résistance au glissement*, résistance due au frottement de la lame sur le papier dont la surface présente une certaine rugosité. Si, tout en faisant glisser la lame de platine, nous la mettons en communication avec le pôle négatif de la pile, la résistance au glissement va être diminuée dans de très grandes proportions : le courant électrique a pour effet de lisser, de lubrifier, de savonner en quelque sorte, la surface du papier rugueux, à l'origine, de *diminuer le coefficient de frottement* entre la lame de platine et la surface du papier. Cet effet du

courant électrique est proportionnel à l'intensité du courant, commence avec lui et s'achève avec lui : il est tellement sensible que les plus faibles courants, ceux, par exemple, qui sont sans action sur les électro-aimants, sont rendus ici très perceptibles.

Cela bien établi, il est facile de voir comment fonctionne le récepteur d'Edison dont la figure 111 représente un diagramme de principe. Une lame mince de mica de 8 à 9 centimètres de diamètre porte à son centre une lame de platine C qui vient s'appuyer sur le cylindre A avec une pression constante réglée par une vis. Le cylindre A est fait avec une pâte composée de chaux, d'hydrate de potasse et d'une petite quantité d'acétate de mercure. Cette pâte joue le rôle du papier imbibé de la solution de potasse dans l'expérience précédente. Ce cylindre tourne d'un mouvement régulier à l'aide d'un engrenage et d'une manivelle.

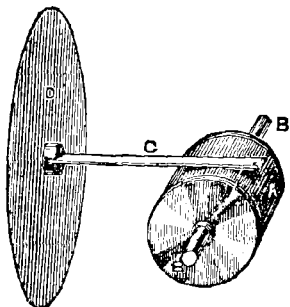


Fig. 111. — Diagramme du récepteur électro-chimique d'Edison.

Le courant électrique venant du transmetteur traverse le cylindre A recouvert de la pâte, la lame de platine et sort par l'axe B, pour aller à la terre. En faisant tourner le cylindre A (fig. 111) dans le sens des aiguilles d'une montre, le frottement entre la lame C et la surface du cylindre A produira une traction sur la lame C et la plaque de mica, à cause de son élasticité, prendra une certaine position d'équilibre qui dépendra du frottement entre A et C ; chaque variation dans l'intensité du courant qui traverse A et C se traduira donc par une variation dans la traction de la lame C ; il en résultera un certain déplacement de la lame de mica qui vibrera ainsi synchroniquement avec le courant ondulatoire et, par suite, synchroniquement aussi avec la lame du transmetteur. Le sens de la rotation est indifférent, la lame de platine C agit, suivant les cas, en tirant ou en poussant la plaque de mica. La substance qui recouvre le cylindre A doit toujours rester humide. Dans les

modèles plus perfectionnés, le cylindre est formé d'une composition qui peut rester *sèche*, ce qui enlève au téléphone chimique une partie assez fastidieuse de son fonctionnement.

La main organe récepteur d'un système téléphonique. — En poursuivant ses expériences sur la transmission des sons musicaux, M. Gray arriva à construire un téléphone dans lequel *la main de l'opérateur* servait de récepteur.

Le phénomène fut d'abord observé par M. Gray sur la double en zinc d'une baignoire, et voici comment l'auteur décrit l'appareil auquel il fut conduit :

L'instrument est composé d'un support métallique d'un poids suffisant pour le maintenir fixe pendant la manipulation. Sur le support est monté un arbre horizontal reposant sur des coussinets. L'une des extrémités de l'arbre porte une manivelle dont la poignée est faite d'une substance isolante ; sur l'autre extrémité est fixée une caisse en bois mince, sonore et de forme cylindrique, dont la surface est revêtue d'une garniture ou coiffe de métal à laquelle on donne une forme convexe pour plus de solidité. Cette caisse a une ouverture au centre afin d'augmenter les qualités sonores. La caisse de métal est en communication électrique avec le support métallique au moyen d'un fil. Si l'opérateur relie la garniture métallique à la terre par l'intermédiaire du support, et, saisissant d'une main l'extrémité de la ligne, presse les doigts contre la caisse qu'il faut tourner de l'autre main au moyen de la manivelle, le son émis à l'extrémité de la ligne est entendu distinctement même dans toute l'étendue d'une salle très grande. Ces conditions étant bien remplies, plus on donne un mouvement rapide à la plaque, plus les sons musicaux sont clairs ; plus le mouvement est lent, plus le son est doux. Lorsque le mouvement s'arrête, le son cesse complètement.

Téléphone à mercure de M. Antoine Breguet. — La pointe d'un tube capillaire T (fig. 112), contenant du mercure M, plonge dans un vase V. Dans ce vase se trouve une couche de mercure M', surmontée d'eau acidulée A, de façon que la pointe capillaire ne pénètre pas dans la couche de mercure, mais seulement dans l'eau acidulée. Deux fils de platine P et Q communiquent respectivement avec le mercure M et le mercure M'. Si ces deux fils sont réunis entre eux, le niveau du mercure dans le tube capillaire s'établira à une hauteur invariable. Mais, si

l'on interpose dans le circuit une source électrique, le niveau prendra une autre disposition d'équilibre.

En résumé, à chaque différence du potentiel correspondra un niveau déterminé à la surface inférieure du mercure. Au-dessus du mercure M se trouve une masse d'air S dont la pression variera évidemment toutes les fois que le niveau du mercure variera lui-même.

Accouplons deux appareils semblables, en faisant communiquer les fils P et P_1 , Q et Q_1 . Exerçons une pression S ; une force électromotrice dépendant de la valeur de cette pression

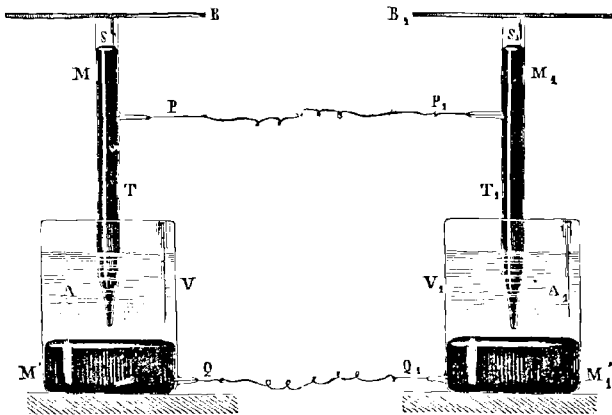


Fig. 112. — Téléphone à mercure de M. A. Breguet.

prendra naissance dans le circuit, et cette force électromotrice produira un changement dans le niveau du mercure M_1 du second appareil. La pression en S_1 y sera par conséquent modifiée.

Si l'on parle au-dessus du tube T , l'air contenu dans ce tube entre en vibration. Ces vibrations sont communiquées au mercure qui les traduit en variations de force électromotrice, et ces variations engendrent dans l'appareil récepteur des vibrations exactement correspondantes de la masse d'air S_1 , de sorte que, si l'oreille se trouve placée au-dessus du tube T_1 , on entendra toutes les paroles prononcées dans le tube T .

Condensateur parlant. — A peu près vers la même époque, M. C. Herz, d'une part, M. Dunand, d'autre part, sont parvenus à faire *parler* le condensateur. La disposition employée par M. Dunand est des plus simples. On place sur le circuit in-

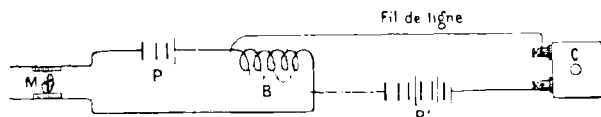


Fig. 113. — Montage d'un poste téléphonique avec condensateur parlant de M. A. Dunand.

Le circuit local du transmetteur se compose du microphone M, de la pile P et du gros fil de la bobine B. Le circuit du condensateur récepteur comprend le fil induit de la bobine B, une pile P' et le condensateur C.

ducteur d'une petite bobine d'induction dont on a préalablement calé le trembleur, une pile de quelques éléments et un transmetteur à charbon quelconque. On place le condensateur sur le circuit *induit* en intercalant une pile de quelques éléments en tension, Daniell ou Leclanché.

La figure 113 montre le montage adopté par M. Dunand.

Dès que l'on retire les éléments du circuit induit, le condensateur cesse de reproduire les sons articulés. Il semble ressortir des expériences que le condensateur ne reproduit la parole sous l'influence des courants induits ondulatoires qu'à la condition que sa charge soit toujours de même sens.

Le microphone employé par M. Dunand a une forme nouvelle qui semble présenter quelques avantages. Il se compose (fig. 114) de deux plaques métalliques AA' fixées dans une bague en bois et formant une boîte hermétiquement close dans laquelle le système microphonique est entièrement à l'abri de l'air et de la poussière. Chacune de ces plaques porte une petite pastille

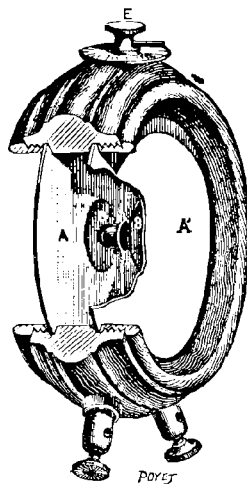


Fig. 114. — Microphone à torsion de M. Dunand.

de charbon BB' collée en son milieu. Entre ces deux pastilles de charbon se trouve un petit morceau de charbon en forme d'olive et d'une longueur *un peu plus grande* que la distance des faces internes des pastilles de charbon. Cette olive est prise par son milieu dans un fil de laiton F tendu diamétralement, fixé à une de ses extrémités et relié à son autre extrémité à un bouton E. En tordant le fil plus ou moins, on applique l'olive avec plus ou moins de force contre les deux pastilles, et l'on rend le microphone plus ou moins sensible. Un index fixé au bouton E se meut devant un cercle divisé et permet de graduer très facilement la torsion du fil pour proportionner la sensibilité de l'appareil à la nature des sons qu'on veut transmettre.

Plus récemment M. Maiche est parvenu à employer le condensateur comme *transmetteur*, en se servant d'un téléphone Bell à fil fin comme *récepteur*.

Nous n'en finirions pas s'il fallait énumérer toutes les expériences curieuses de transmissions téléphoniques. Ce que nous en avons dit suffit pour montrer combien de combinaisons ces appareils permettent de réaliser.

Théorie du téléphone. — La théorie du téléphone transmetteur ne souffre aucune difficulté et a été exposée plusieurs fois au cours de cette étude, nous n'y reviendrons pas. Les discussions qui se sont produites au sujet de la théorie du téléphone avaient surtout trait à l'appareil récepteur. Comment un récepteur téléphonique, un téléphone Bell par exemple, transforme-t-il un courant ondulatoire en son articulé? Quels sont les phénomènes physiques qui concourent à cette transformation?

Nous avons admis comme *théorie provisoire*, commode pour l'explication des appareils, que le courant ondulatoire produisait dans le récepteur des renforcements et des affaiblissements successifs de la puissance magnétique de l'aimant, se traduisant par des attractions plus ou moins grandes de la plaque *vibrant* alors synchroniquement avec les ondulations du courant et dépendant de la puissance magnétique du barreau aimanté.

Cette explication, possible et quelquefois vérifiée dans les téléphones à pile avec transmetteur à charbon, est inadmissible ou tout au moins insuffisante avec le téléphone Bell.

Il résulte d'expériences et de mesures nombreuses faites par MM. *Waren de la Rue, Brough, Galileo Ferrari*, que l'intensité des courants développés par un téléphone Bell ne dépasse pas celle d'un élément Daniell qui aurait traversé *cent millions de ohms*, soit un centième de *micro-ampère*.

Les expériences de M. Breguet, faites avec des plaques de 15 centimètres d'épaisseur, et celles de M. Ader qui n'emploie pas de plaque du tout, rendaient difficile une explication basée *seulement* sur les attractions magnétiques.

Les expériences de Page ont montré qu'une tige de fer placée dans une bobine vibre sous l'action de courants interrompus. Le téléphone musical de Reiss est, comme nous l'avons vu, une application de ce phénomène.

Ces vibrations sont déterminées au sein du noyau magnétique par suite des aimantations et des désaimantations de ce noyau. Dans le téléphone Bell, le noyau vibre donc *longitudinalement* sous l'action du courant ondulatoire qui traverse la bobine.

Ce deuxième phénomène ne suffit pas cependant à expliquer le téléphone de M. Ader sans noyau magnétique ; il faut admettre une troisième action due aux réactions des spires de l'hélice les unes sur les autres. Dans d'autres cas, il se produit aussi des réactions entre l'hélice et le barreau magnétique qui contribuent à la production des sons.

Dans un téléphone donné, ces quatre actions principales ne se produisent pas toutes au même degré : quelquefois l'une d'elles est prédominante, d'autres disparaissent complètement ; dans certains cas toutes agissent, quoique à des degrés différents. Dans certains téléphones la vibration propre de la plaque joue un rôle assez considérable pour donner aux transmissions un timbre de *Polichinelle* tout particulier, mais ce fait doit être attribué en partie au transmetteur qui envoie dans la ligne un courant ondulatoire *déformé* par l'action propre de sa plaque vibrante

et en partie au récepteur qui ne vibre pas synchroniquement avec les ondulations électriques qui le mettent en mouvement.

Il ne faudrait pas cependant admettre d'une façon absolue que les courants téléphoniques provenant d'un transmetteur magnétique ne puissent produire les vibrations d'un diaphragme, par attractions purement magnétiques. L'avertisseur de M. Ader fonctionne avec les courants développés par le téléphone magnétique de M. Gower. Il y a bien là une action magnétique directe produisant une véritable attraction.

Nous devons conclure de ces quelques considérations, que nous n'avons pas le loisir de développer davantage dans un ouvrage élémentaire, que la théorie du téléphone est fort complexe et qu'il est très difficile de déterminer l'importance du rôle joué par chacune des actions que nous venons de définir. Les discussions nombreuses provoquées par cette théorie viennent de ce que l'on a exagéré l'influence de chacune de ces actions individuellement et aux dépens des autres. La vérité est qu'elles sont simultanées et se produisent avec des valeurs relatives différentes pour chaque cas particulier. Il faut donc rejeter toute théorie basée sur un mode d'action *exclusif*, et par conséquent *incomplète*.

PHOTOPHONES ET RADIOPHONES.

Le *photophone*, comme son nom l'indique, est un appareil qui *parle par la lumière*, en d'autres termes, un appareil qui transmet la parole à distance par l'intermédiaire d'un rayon lumineux. C'est un *téléphone sans fil*. Le nom de photophone a été tout d'abord donné à l'appareil par son inventeur. On a reconnu depuis qu'il n'était pas nécessaire que les radiations fussent lumineuses pour transmettre la voix à distance. M. *Mercadier* a proposé le nom de *radiophone*, aujourd'hui universellement adopté, et fort justement à notre avis, car il ne préjuge rien de la nature des radiations qui agissent sur les appareils, que ces

radiations soient seulement actiniques, ou lumineuses, ou thermiques, soit que les trois sortes de radiations concourent à la fois à la production du phénomène.

M. Graham Bell avait pressenti depuis longtemps déjà la réalisation du photophone. En effet, dans un Mémoire présenté à la Société Royale de Londres le 17 mai 1878, il avait annoncé qu'en faisant tomber sur une plaque de sélénium une vive lumière et qu'en l'interrompant brusquement, on pouvait *entendre l'effet de cette ombre* tombant sur le sélénium : nous allons voir quel brillant parti l'inventeur a su tirer de cette idée première. Le photophone est fondé sur une propriété du sélénium découverte en 1872 par un télégraphiste de Valentia, M. May, en faisant des expériences sur l'isolement des câbles sous-marins.

Le 12 février 1873, M. Willoughby Smith annonça le fait à la Société des ingénieurs télégraphistes de Londres.

Le sélénium exposé à la lumière change instantanément de résistance électrique. Dans certains échantillons fabriqués par M. Siemens, en représentant par *quinze* la résistance électrique dans l'obscurité, cette résistance n'était plus que *un* à la lumière solaire. C'est sur cette propriété qu'est fondé le photophone d'articulation. Le modèle présenté à l'Académie des sciences le 18 octobre 1880 est représenté figures 115 et 116; la figure 117 est un diagramme de son fonctionnement.

Le transmetteur se compose d'une petite lame mince de verre argenté, de la grandeur d'une plaque de téléphone ordinaire, encastrée dans un support B, lequel est adapté à l'extrémité d'un tuyau en caoutchouc de 50 centimètres de longueur.

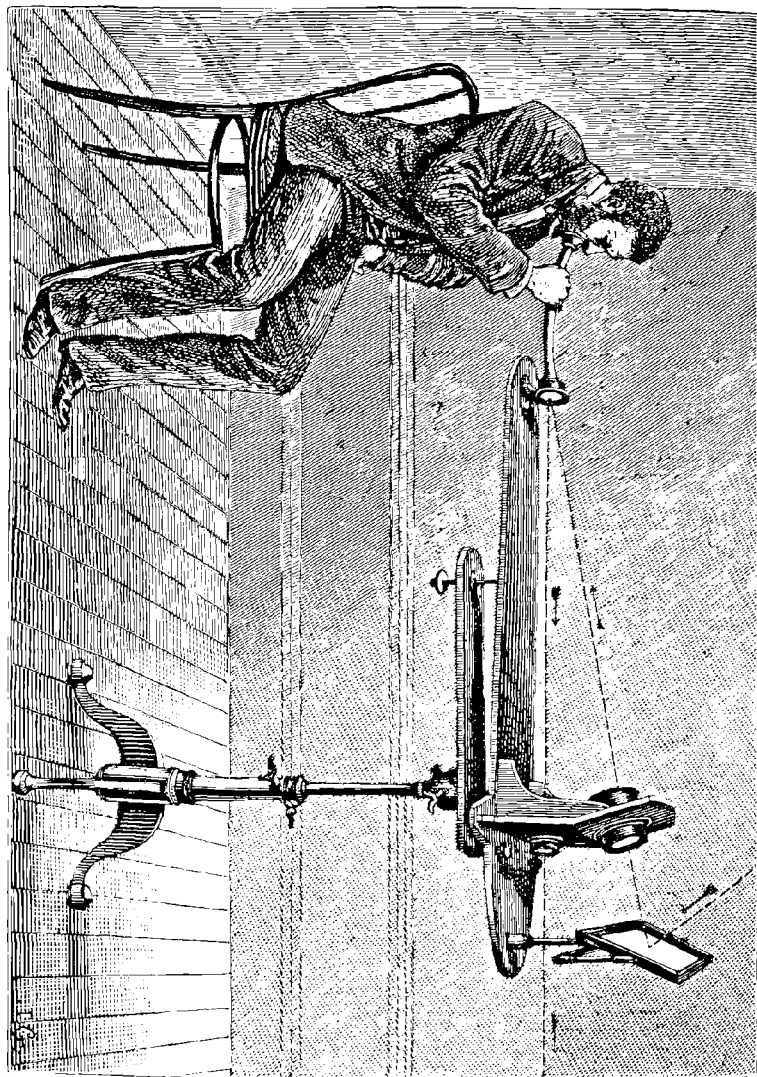
A l'aide d'un miroir M et d'une lentille convergente achromatique L, on fait tomber sur cette plaque argentée les rayons d'une lumière électrique ou de la lumière solaire.

Les rayons réfléchis par le miroir argenté traversent en R une seconde lentille qui les renvoie sur le récepteur après les avoir rendus sensiblement parallèles. Un système de vis calantes sert à diriger le faisceau sur le récepteur (fig. 116).

En parlant dans l'embouchure, la plaque de verre argenté

vibre, se bombe plus ou moins, dilate, répartit le faisceau sur une surface plus ou moins grande et fait varier synchronique-

Fig. 115. — Phonophone d'articulation de MM. Graham Bell et Sumner Tainter. — Après sa réflexion sur le miroir vibrant du parleur, le rayon lumineux, indiqué par une ligne ponctuée, est dirigé sur le récepteur placé au loin.



ment avec ses vibrations propres l'intensité des rayons envoyés sur le récepteur.

Le récepteur (fig. 117) se compose d'un réflecteur en cuivre argenté CC de forme parabolique, de 70 centimètres de

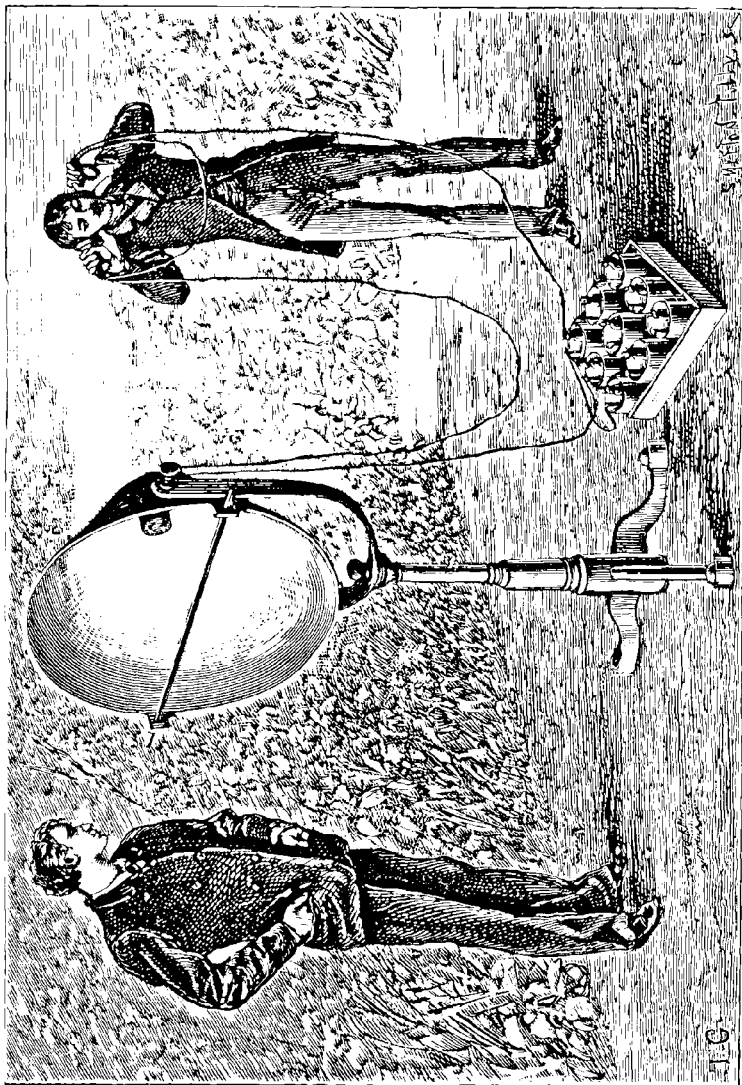


Fig. 116. — Le récepteur du photophone d'articulation. — Les paroles transmises par les rayons lumineux sont entendues dans les téléphones reliés à l'appareil.

diamètre environ. Le sélénium préparé est placé au foyer S de ce miroir parabolique. Une pile de neuf éléments Leclanché

P, et deux téléphones Bell ordinaires à fil très fin TT sont mis dans le circuit du sélénium préparé, qui joue dans ces conditions le rôle de *microphone à lumière*, sa résistance électrique variant à chaque instant avec l'intensité du rayon lumineux qui le frappe.

La disposition employée par MM. Bell et Tainter, pour former le récepteur, est des plus curieuses. Il fallait à la fois que le sélénium offrît une grande surface à la lumière et opposât une très

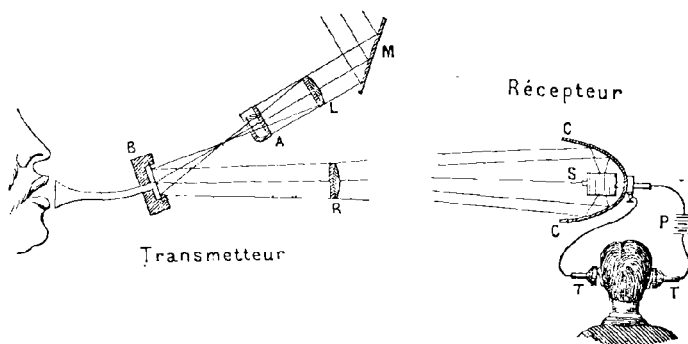


Fig. 117. — Diagramme théorique du photophone d'articulation (d'après un croquis dessiné par M. Graham Bell).

Transmetteur. — M, miroir projetant la lumière solaire. — L, lentille convergente. — A, cuve transparente contenant de l'alun. — B, support du miroir vibrant. — R, lentille pour rendre les rayons réfléchis parallèles.

Récepteur. — CC, miroir parabolique de cuivre argenté. — S, sélénium préparé. — P, pile. — TT, téléphones.

faible résistance au passage du courant. Il semblerait au premier abord que ces conditions fussent incompatibles.

Le sélénium préparé, représenté ci-dessus en coupe (fig. 118) et en un diagramme figuré ci-contre (fig. 119), montre comment la difficulté a été levée. Le système se compose d'une série de disques de laiton, séparés par des disques de mica d'un diamètre légèrement plus faible; les vides annulaires sont remplis par du sélénium, — représenté en noir sur les figures 118 et 119, — de telle sorte que le récepteur présente l'aspect d'un cylindre uni de 9 centimètres de longueur sur 5 centimètres de diamètre environ. Les disques de rang pair sont tous reliés entre eux

et se joignent à un rhéophore N; ceux de rang impair à un second rhéophore M, chaque rhéophore se relie au téléphone T.

Grâce à cette disposition, la surface du sélénium est grande relativement à sa masse, et tous les anneaux de sélénium, étant

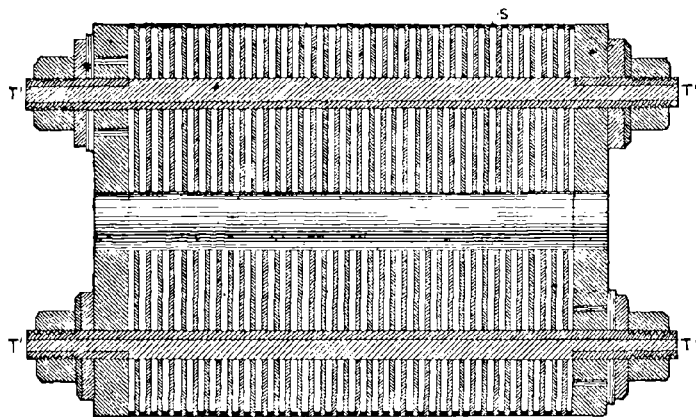


Fig. 118. — Coupe du récepteur à sélénium (grandeur d'exécution).

traversés par le courant *en quantité*, ne lui offrent qu'une faible résistance qui diminue avec leur nombre; on voit que chaque

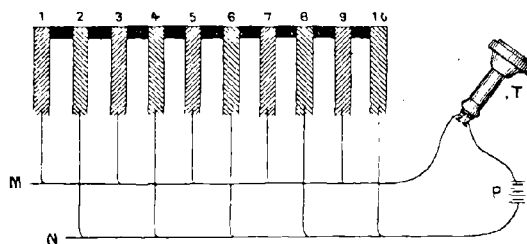


Fig. 119. — Figure schématique pour expliquer la construction du récepteur à sélénium.

fois qu'il s'ajoute un anneau de plus, la surface du sélénium exposée à la lumière *augmente*, tandis que la résistance électrique du système diminue. Dans l'obscurité, la résistance du récepteur ainsi constitué est de 1200 *ohms*, et de 600 *ohms* à la lumière du jour.

Voici comment se prépare le récepteur, dont nous n'avons encore fait comprendre que le principe. Après avoir empilé les disques successifs de laiton et de mica, on maintient l'ensemble de l'appareil à une température voisine de celle à laquelle fond le sélénium ordinaire ; le sélénium se loge dans les espaces annulaires. On élève ensuite graduellement la température du récepteur jusqu'à ce que l'aspect métallique du sélénium disparaisse et soit remplacé par une couleur mate d'un gris ardoise. On éteint alors l'appareil de chauffage, on laisse refroidir, et le récepteur est prêt à fonctionner.

L'appareil ainsi constitué est d'une extrême sensibilité ; il obéit à toutes les variations d'intensité de la lumière qui le frappe au point qu'on entend dans le téléphone récepteur toutes les variations provenant de la source lumineuse, quand elle est constituée par un régulateur électrique. L'appareil reproduit le chant et la parole articulée avec une netteté et une exactitude remarquables.

Lorsqu'on emploie, au lieu du transmetteur à miroir, un disque interrupteur, les sons produits sont beaucoup plus intenses, et il n'est pas nécessaire d'appliquer le téléphone contre l'oreille pour les entendre. La lumière interrompue d'une bougie suffit pour produire un son, et il a été ainsi possible de transmettre des sons et de constituer un téléphone acoustique lumineux à plus de deux kilomètres de distance, en employant une source lumineuse assez intense.

Radiophone à tellure et à noir de fumée. — Le professeur W. G. Adams, de Londres, montra que le *tellure*, comme le sélénium, change de résistance sous l'influence de la lumière, et MM. Bell et Tainter essayèrent de remplacer le sélénium par le tellure dans leur récepteur photophonique. M. Bell fit un alliage de sélénium et de tellure, qui, à cause des propriétés électriques extrêmes de ces deux corps, devait avoir des propriétés moyennes.

En songeant aux grands mouvements moléculaires produits par l'action d'un rayon intermittent sur le noir de fumée,

M. Tainter pensa qu'une variation analogue se produirait dans le courant qui le traverse et qu'on pourrait alors remplacer le sélénium par le noir de fumée dans le récepteur électrique.

L'expérience est venue confirmer l'idée émise par le collaborateur de M. Bell. Bien que les appareils radiophoniques n'aient encore produit aucune application pratique, il était important de les signaler, car ils présentent un intérêt scientifique considérable, et l'on peut prévoir qu'ils seront appelés à rendre des services dans un temps plus ou moins éloigné.

CHAPITRE IV

LES APPLICATIONS DU TÉLÉPHONE

Le téléphone n'a que sept années d'existence, puisque la découverte de Bell ne remonte qu'à l'année 1876, et il faudrait déjà plusieurs volumes pour passer en revue toutes les applications qu'il a reçues en un si court espace de temps.

Nous choisirons, parmi les innombrables applications du téléphone, quelques-unes des plus importantes ou des plus curieuses, au premier rang desquelles il convient de placer les communications téléphoniques.

COMMUNICATIONS TÉLÉPHONIQUES.

Cette application du téléphone, toute naturelle d'ailleurs, est celle qui a reçu jusqu'ici le plus grand développement, mais, malgré tout l'avenir qui lui est réservé, — un avenir immense, à notre avis, — nous devons nous tenir en garde contre les exagérations qui ont suivi l'apparition du téléphone.

On avait cru, dans le principe, à une révolution complète du service télégraphique, mais il a fallu en rabattre pour deux excellentes raisons. Le téléphone ne conserve pas trace des messages envoyés et, d'autre part, sa rapidité n'est pas comparable à celle des télégraphes perfectionnés qui débitent jusqu'à *huit mille mots par heure* avec un seul fil.

Il présente cependant l'immense avantage de pouvoir être employé par le premier venu, sans éducation spéciale ; aussi l'emploie-t-on pour le service des établissements publics, le service des mines, les travaux sous-marins, la marine, l'armée, etc.

Communications téléphoniques dans les villes. — Le service de communications téléphoniques en fonctionnement ou en voie d'établissement dans la plupart des grandes villes de l'ancien et du nouveau monde consiste dans l'établissement d'un bureau central en correspondance avec tous les abonnés.

Le bureau central a pour but de répondre aux appels faits par les abonnés, de les mettre, sur leur demande et pendant un temps indéterminé, en relation avec l'un quelconque des autres abonnés. On voit déjà tous les avantages de cette combinaison : chaque abonné nouveau constitue pour tous les autres un nouveau correspondant, ce qui accroît chaque jour l'importance et l'utilité du service. Sans entrer dans des considérations générales qui se développent d'elles-mêmes dans l'esprit du lecteur, nous choisirons quelques exemples de communications téléphoniques en décrivant les systèmes employés en Amérique et à Paris pour établir un service régulier de communications.

Les communications téléphoniques en Amérique. — On n'est plus à compter les villes qui se servent journellement des communications téléphoniques. Pour prendre un exemple dans le service courant, transportons-nous à New-York par la pensée, et voyons comment fonctionne le service du téléphone. Si nous pénétrons au milieu de la grande salle du bureau central du *Merchant's Telephone Exchange* établi dans Broadway, nous verrons une série de *switchman* (employés) occupés à établir les communications entre les abonnés. Là c'est un *switchman* correspondant avec un des abonnés qui a appelé (fig. 120); plus loin c'est un autre employé occupé à relever le signal d'avertissement (fig. 121). Dans la ville, chez l'abonné, est le *téléphone de bureau*, tel qu'on l'installe dans un grand nombre de maisons (fig. 122); ce modèle est très commode pour les affaires, car il permet de parler dans l'embouchure placée à gauche,

d'écouter avec le téléphone, qu'on décroche pour l'appliquer à son oreille, et en même temps de prendre des notes sur le pupitre avec la main restée libre.

Avant de suivre la série des opérations qui constituent un appel complet, examinons rapidement le système de téléphones employés dans le bureau de Broadway.

Ce système appartient à la classe des *téléphones à pile*, ce qui permet d'utiliser ces piles pour faire les appels chez les abonnés, à l'aide de sonneries ordinaires, sonneries représentées sur le pupitre de la figure 122.

Transmetteur. — Le transmetteur est le téléphone à charbon d'Edison. Le circuit est formé par la pile — quatre éléments Leclanché, — le transmetteur, et une petite bobine Ruhmkorff sans trembleur. Il constitue le circuit primaire de la bobine. La ligne et le récepteur de l'autre poste sont reliés au fil secondaire de la bobine, fil dont l'autre extrémité est reliée au récepteur du poste et à la terre.

Récepteur. — Le récepteur est un téléphone Phelps, sorte de téléphone Bell, à aimant recourbé en forme d'anneau, ce qui rend son maniement assez facile (fig. 122). Dans la position de repos ou d'*attente*, le téléphone est pendu à son crochet, et par ce fait seul, il fait basculer une pièce formant commutateur, qui supprime toute la partie téléphonique du circuit pour n'y intercaler que la sonnerie. On est donc ainsi prêt pour un appel. En prenant le téléphone à la main, la pièce, en basculant de nouveau, remet automatiquement toutes les communications sur *téléphone*.

Les téléphones des employés du poste central, parleur et récepteur, sont analogues à ceux des abonnés; mais, pour faciliter le maniement de ces appareils, le parleur et le récepteur sont montés sur une même tige en acier un peu recourbée qui sert de poignée, comme cela est représenté figure 120, et forme en même temps l'aimant du récepteur. Nous allons pouvoir suivre maintenant toute la série des opérations.

Supposons que l'abonné 731, que nous nommerons Édouard,

veille correspondre avec l'abonné 511, que nous appellerons Léon. Édouard commence par appuyer sur un petit bouton placé sur le côté droit du pupitre (fig. 120). Comme le téléphone est suspendu, il en résulte que, dans cette position, le courant de la pile d'Édouard traverse la ligne et un petit électro-aimant placé au poste central; l'électro-aimant devenant actif a pour effet de



Fig. 120. — *Switchman* ou employé du téléphone correspondant avec un abonné.

détacher un petit guichet (fig. 121), qui tombe avec un petit bruit sec suffisant pour appeler l'attention de l'employé, et fait apparaître le numéro 731. L'employé ainsi prévenu se met alors en communication avec Édouard, en plaçant le fil qui correspond à son téléphone sur une barre de cuivre longitudinale reliée aussi à la ligne d'Édouard. La conversation s'engage alors, en commençant par ce cri bizarre mais consacré : *Hallo! Hallo!*

Édouard demande à l'employé de le mettre en correspondance

avec le n° 511. Si le n° 511 est libre en ce moment, l'employé appuie sur un bouton après avoir eu soin de relier le fil du n° 511 à ce bouton. La sonnerie de Léon se met en marche, et lorsque Léon est prêt à correspondre, il appuie sur son bouton de sonnerie, ce qui a pour effet de faire tomber le guichet correspondant à son numéro. En mettant alors un fil de communication

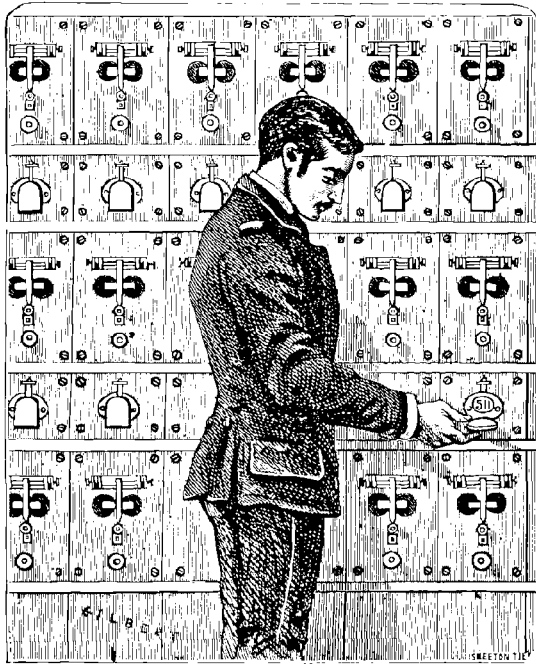


Fig. 121. — Employé occupé à relever le signal d'avertissement.

directe entre les deux barres horizontales qui correspondent aux fils de ligne d'Édouard et de Léon, la communication entre ces deux correspondants est établie. Si, à ce moment, on oblige l'employé à retirer son téléphone du circuit, la conversation entre Léon et Édouard devient *secrète*. Si pendant que Léon et Édouard sont en conversation, le n° 42, que nous nommerons Jules, veut correspondre avec Léon par exemple, l'employé peut se mêler à

la conversation des deux interlocuteurs comme le ferait un domestique venant annoncer un visiteur.

La personne interpellée par l'employé peut donc répondre tout de suite, ou faire annoncer à Jules dans combien de temps elle sera à ses ordres. S'il n'y a aucun inconvénient à ce que la conversation se fasse entre Édouard, Léon et Jules, on peut, en avisant l'employé, établir immédiatement une communication

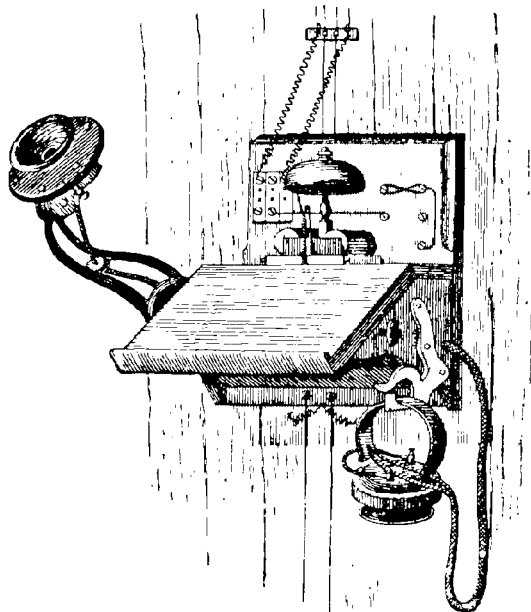


Fig. 122. — Téléphone de bureau installé chez un abonné à New-York.

entre ces trois personnes. Cette manœuvre équivaut au *Faites entrer* de la vie ordinaire.

Les communications téléphoniques, ainsi conçues et utilisées, peuvent rendre les plus grands services, car elles suppriment les distances et établissent une sorte de *présence réelle* entre les interlocuteurs, qui peuvent s'entendre comme s'ils étaient réunis dans la même pièce, bien que séparés souvent par des distances considérables.

Lorsque la conversation entre Édouard et Léon est terminée, ils accrochent chacun leur téléphone et appuient sur leurs boutons, il en résulte que le numéro de chacun d'eux réapparaît au poste central. L'employé sait alors que la conversation est finie entre les deux interlocuteurs; il relève les guichets, supprime la communication directe entre Léon et Édouard, et tout est prêt pour un nouvel appel.

Dans les postes où il y a 500 ou 600 abonnés, on doit disposer les numéros par ordre dans des tableaux renfermant chacun de

50 à 100 guichets; on emploie alors des dispositions spéciales pour faire communiquer les séries entre elles.

A New-York, le bureau central ne fait pas moins de 6000 communications par jour, et tout se passe à la plus grande satisfaction des clients. Le téléphone est devenu pour ceux-ci aussi indispensable que les omnibus pour les Parisiens.

Quant aux lignes, elles sont aériennes ou souterraines. Les lignes aériennes

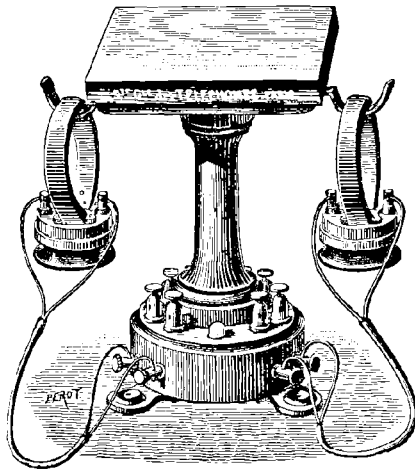


Fig. 123. — Poste téléphonique d'abonné, système Ader. Modèle portable.

ont l'avantage de diminuer les effets nuisibles de l'induction réciproque des fils les uns sur les autres, mais sont d'un effet déplorable et deviendront, si leur nombre se multiplie par trop, une source permanente de dangers. Les lignes souterraines, d'un maniement plus facile, demandent d'être réunies en grand nombre dans un câble de faible grosseur relative, pour ne pas encombrer les égouts, mais les effets d'induction sont alors très intenses et rendent parfois les communications difficiles. L'emploi d'un *fil de retour*, c'est-à-dire d'un circuit entièrement métallique, réduit ces inconvénients, mais

augmente la dépense d'installation. C'est le seul qui, jusqu'ici, ait donné des résultats pratiques.

Les communications téléphoniques commencent à s'introduire dans les mœurs de notre capitale. La *Société générale des téléphones* établie à Paris compte actuellement plus de 3000 abonnés. On avait d'abord établi des transmetteurs Edison et des récep-

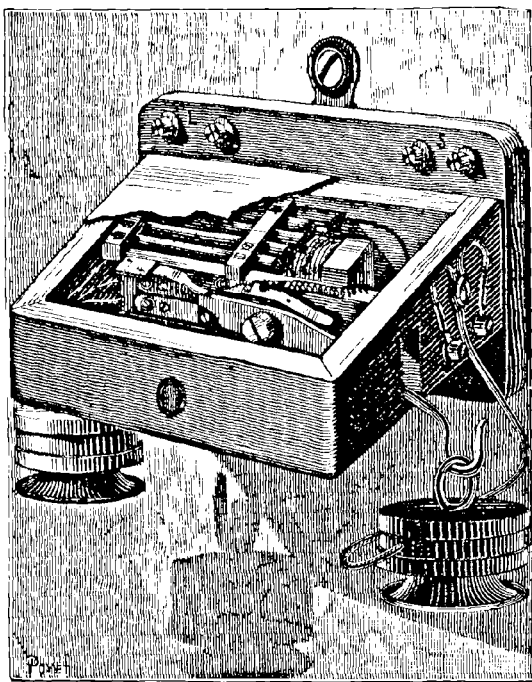


Fig. 124. — Poste téléphonique simplifié avec petit bureau central.

teurs Phelps, comme à New-York. On les remplace aujourd'hui par des transmetteurs et des récepteurs Ader, moins délicats, plus sensibles, et qui n'obligent pas à parler dans une embouchure, avantages qui ne sont pas à dédaigner.

Dans le principe, on avait installé des téléphones magnétiques Gower, et dans ce but, M. Ader avait imaginé un appareil des plus ingénieux pour faire déclancher un signal au poste central sous l'action des courants électro-magnétiques du téléphone

Gower. On a renoncé aujourd'hui aux systèmes électro-magnétiques parce que les transmetteurs à pile fournissent des effets incomparablement plus puissants.

La figure 123 représente le poste Ader du modèle portatif combiné surtout pour être placé sur un bureau, à portée de la main. Un fil souple établit la communication du poste avec la sonnerie,



Fig. 125. — Poste d'abonné formant petit bureau central auxiliaire.

la pile et la ligne qui relie l'abonné au poste central. Pour les services privés, la Société des téléphones installe des postes simplifiés (fig. 124) munis de récepteurs à aimant circulaire décrits page 233.

Certains industriels reliés à un bureau central désirent pouvoir communiquer à la fois avec les autres abonnés du réseau et avec leurs différentes dépendances, usine, magasin, atelier, en-

trepôt, etc. Dans ce cas, on établit une sorte de petit bureau central auxiliaire (fig. 126) muni de guichets en nombre variable,

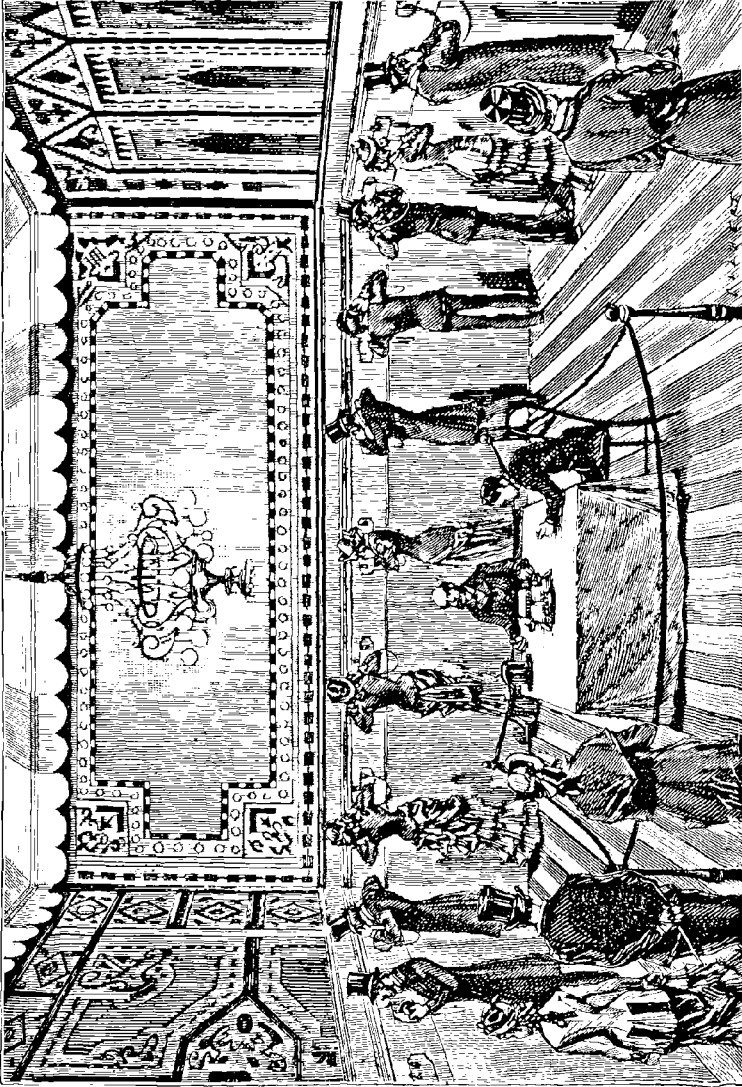


Fig. 126. — Une salle d'audition téléphonique de l'Opéra à l'Exposition d'électricité.

reliés à un certain nombre de postes correspondants et qui permettent de réaliser toutes les combinaisons demandées.

Auditions théâtrales téléphoniques. — Rien ne met mieux en relief la délicatesse et la puissance des appareils de M. Ader que les auditions théâtrales téléphoniques établies pendant la durée de l'Exposition internationale d'électricité, entre le palais de l'industrie et les théâtres de l'Opéra, l'Opéra-Comique et les Français. On peut affirmer que ces auditions ont été *le clou* de l'Exposition.

Tous les sons sont transmis avec une merveilleuse délicatesse, sans aucun de ces crachements qui faisaient le désespoir de tous ceux qui avaient essayé jusqu'ici d'employer le microphone à la transmission à distance des effets multiples des soli, des chœurs et de l'orchestre.

Les transmetteurs sont des microphones du système Ader placés sur l'avant-scène, du côté de la rampe. A l'Opéra, ils sont au nombre de dix, placés derrière les becs de gaz à flamme renversée. Ils ne diffèrent pas des transmetteurs employés sur le réseau de la Société générale des téléphones. Nous les avons décrits page 245, nous n'y reviendrons pas. Les dix récepteurs ont chacun leur pile spéciale, leur bobine d'induction correspondante et leur fil de ligne double complètement indépendant. Comme les piles se polarisent rapidement, un commutateur spécial non représenté permet de changer instantanément les dix groupes de piles à la fois chaque quart d'heure et de les remplacer par de nouvelles. Sur le diagramme de la page 281 (fig. 127) nous avons numéroté les transmetteurs 1, 2, 3 et 10, et nous avons affecté d'indices correspondants les piles P, les bobines B, les lignes et les téléphones récepteurs en relation avec ces lignes.

Les récepteurs sont les téléphones à surexcitation de M. C. Ader que nous avons décrits page 230.

Arrivons maintenant à l'effet acoustique nouveau que M. Ader a découvert et appliqué pour la première fois aux auditions téléphoniques théâtrales de l'Exposition d'électricité.

Tous ceux qui ont eu la bonne fortune d'entendre les téléphones au Palais de l'Industrie ont pu remarquer qu'en écou-

tant avec les *deux* oreilles dans deux téléphones, l'audition prend un caractère spécial de relief, de localisation, qu'un seul récepteur est impuissant à produire.

Chacun sait en effet, par sa propre expérience, qu'en écoutant dans un téléphone, il est matériellement impossible d'avoir une idée quelconque, même grossière, de la distance à laquelle *paraît être* l'interlocuteur : pour les uns, cette distance n'est que de quel-

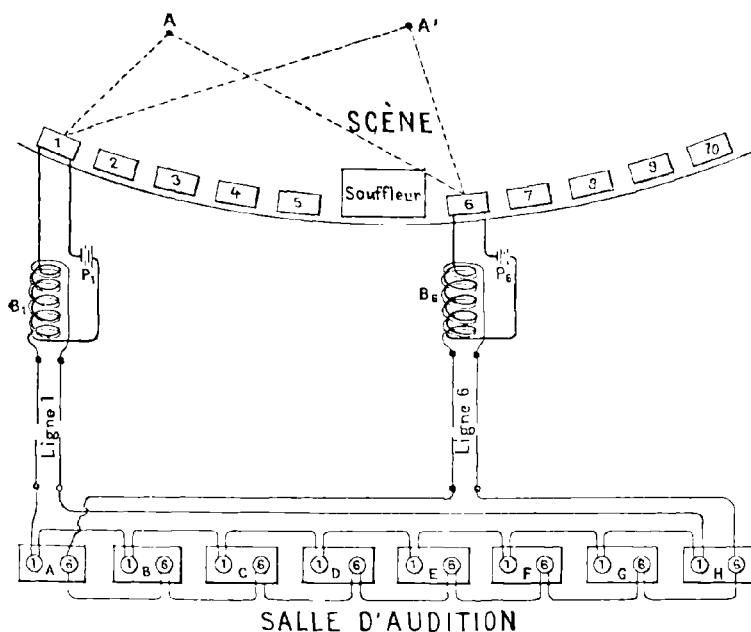


Fig. 127. — Diagramme de montage des téléphones expliquant les effets de *perspective auditive*.

ques mètres, pour d'autres, la voix paraît sortir de terre à de très grandes profondeurs.

Ici rien de pareil. Dès que l'audition commence, les personnages se placent, dans l'esprit de l'auditeur, à une distance fixe, les uns à droite, les autres à gauche; il est facile de suivre leurs déplacements et d'indiquer exactement, chaque fois qu'ils changent de côté, la distance imaginaire à laquelle ils paraissent se trouver l'un de l'autre et du spectateur téléphonique. C'est là

évidemment un phénomène des plus curieux; il touche de près à la théorie de l'*audition binauriculaire*, et n'avait jamais encore été appliqué, croyons-nous, avant M. Ader, à produire cette illusion des plus remarquables, à laquelle on pourrait donner le nom de *perspective auditive*.

Nous venons d'exposer le phénomène; passons maintenant à son explication, qui est des plus simples.

Il faut, pour s'expliquer cet effet, se rappeler le stéréoscope qui permet de voir les objets avec leur relief naturel. Un effet semblable se produit pour l'ouïe, et l'on peut s'en rendre compte en se reportant à la figure 127. Chaque personne placée devant une planchette a deux téléphones qui reçoivent l'impression de deux transmetteurs distincts placés à une certaine distance l'un de l'autre. Ces transmetteurs sont groupés par paires, deux à deux : 1 et 6; 2 et 7; 3 et 8; 4 et 9; 5 et 10.

Nous avons seulement représenté le montage complet pour le groupe formé par les transmetteurs 1 et 6. Ce groupe alimente seize téléphones destinés à huit auditeurs, mais le transmetteur 1 sert aux huit téléphones de *gauche* et le transmetteur 6 aux huit téléphones de *droite* des huit auditeurs A, B, C, ... H. Lorsque l'acteur est en A, par exemple, le transmetteur 1 est plus influencé que le transmetteur 6, l'oreille *gauche* est plus impressionnée que l'oreille *droite*, le chanteur paraît alors être à *gauche*, pour les huit personnes du même groupe. Lorsque le chanteur est en A', le transmetteur 6 est au contraire plus impressionné que le transmetteur 1, le chanteur paraît être à *droite* des auditeurs. Ces impressions se modifient avec les positions relatives des chanteurs, on entend changer de place, on suit la marche, les croisements des personnages, les déplacements des chœurs, etc.

Les dix transmetteurs servent à 80 téléphones, c'est-à-dire à quarante auditeurs placés dans deux salles disposées pour recevoir chacune vingt personnes. L'installation complète comprend 160 téléphones et quatre salles. Toutes les deux minutes, les communications des téléphones sont changées à l'aide d'un

commutateur placé dans le Palais de l'Industrie ; les deux autres salles sont alors mises en relation avec les dix lignes venant de l'Opéra pendant les deux minutes suivantes et ainsi de suite. Sur les 160 récepteurs, on n'en a donc que 80 à la fois en activité, et par suite quarante personnes écoutant à la fois, comme nous venons de le dire. On pourrait arriver à donner encore plus de puissance aux effets en augmentant le nombre des lignes et en ne plaçant plus que six téléphones au lieu de huit sur le circuit de chaque transmetteur.

La figure 126 représente une des salles d'auditions téléphoniques du Palais de l'Industrie éclairée par des lampes Swan. Une queue compacte et interminable se pressait aux abords de ces salles, et il n'était pas rare de voir quelques-uns de ceux qui avaient déjà pénétré une fois dans le sanctuaire de la musique téléphonique, se replacer de nouveau à la fin de la foule pour courir les chances de jouir encore une fois pendant deux minutes de ce spectacle curieux et sans précédent.

A quand l'Opéra à domicile ?

Auditions téléphoniques. — Système de M. James Moser. — M. James Moser s'est proposé d'augmenter le nombre d'appareils récepteurs et de diminuer le nombre de lignes et il est arrivé au résultat suivant : transmettre la parole et la musique à cent téléphones à la fois à l'aide d'une simple ligne. M. James Moser a obtenu ce résultat en construisant de véritables batteries de transmetteurs, de bobines induites et de téléphones récepteurs dont il fait varier à volonté le nombre et le groupement, suivant la nature de la ligne, le nombre de récepteurs, etc.

Le diagramme ci-contre (fig. 128) montre comment sont groupés les appareils dans ces expériences.

La source électrique se composait d'accumulateurs Faure, modèle Reynier, dont on pouvait faire varier le nombre à volonté à l'aide d'un commutateur ; les transmetteurs étaient du système Ader, au nombre de 25, et montés en dérivation. En pratique, ces transmetteurs sont disposés en cinq rangées verti-

cales de cinq appareils, sur une planche d'environ 1 mètre de côté placée au-dessus de l'orchestre dans une position un peu inclinée. Chaque transmetteur Ader se compose de 10 crayons disposés en tension de 5 charbons en quantité, c'est-à-dire 20 contacts par transmetteur (4 en tension, 5 en quantité), soit en tout 500 contacts de charbon influencés simultanément et synchroniquement par les vibrations. Le circuit des accumulateurs et des 25 transmetteurs était fermé sur les fils inducteurs

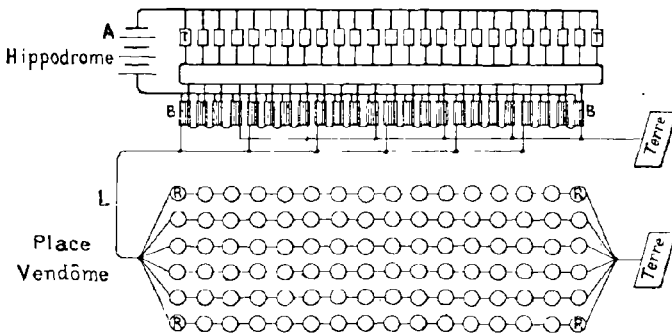


Fig. 128. — Expériences téléphoniques de M. James Moser entre l'Hippodrome et la place Vendôme.

A. Accumulateurs Faure, modèle Reynier. — Transmetteurs Ader (25 en déviation). — B. Bobines d'induction. Les fils inducteurs des 24 bobines sont établis en dérivation sur le circuit des accumulateurs et des transmetteurs Ader, les fils induits forment 6 dérivations de quatre fils en tension reliées d'une part à la terre et d'autre part à la ligne. — L. Ligne. — R. Récepteurs Ader (6 dérivations de 16 récepteurs en tension).

de 24 bobines d'induction identiques à celles employées par la Société des téléphones, montées en quantité.

Les 24 fils induits des 24 bobines d'induction étaient groupés en 6 dérivations de 4 bobines en tension et reliés à la ligne unique établissant la communication entre les deux postes, le retour s'effectuant par la terre. Les 96 téléphones récepteurs Ader étaient groupés en 6 dérivations renfermant chacune 16 appareils en tension.

Le montage de tous les transmetteurs en quantité est dicté par cette considération, démontrée théoriquement et expérimentalement par M. J. Moser, que les variations du courant inducteur,

et, par suite, celles du courant induit, sont proportionnelles à l'intensité du courant qu'on a intérêt à rendre la plus grande possible, sans cependant dépasser, pour chaque contact microphonique, une certaine intensité au-dessus de laquelle il se produit des étincelles et des crachements. Un courant d'un ampère par transmetteur Ader correspond à $1/5$ d'ampère par contact, ce qui est une bonne moyenne pour les transmetteurs de ce type.

Pour le groupement des bobines induites et des récepteurs, on serait conduit, d'une part, à monter tous les appareils en tension, pour diminuer l'influence de la résistance de la ligne, et, d'autre part, à faire au contraire un montage en quantité pour marcher à des tensions peu élevées qui réduisent l'influence des fuites ou dérivations et des effets électrostatiques. En pratique, on choisit une disposition intermédiaire appropriée à la nature de la ligne sur laquelle doit s'effectuer la transmission.

Téléphones domestiques. — Le téléphone peut recevoir une foule d'applications aux usages domestiques; nous en signalerons seulement quelques-unes. Un locataire peut établir une correspondance téléphonique avec le concierge de la maison, correspondance qui ne saurait être trop appréciée des visiteurs lorsque l'étage est élevé. Un industriel peut correspondre de son bureau avec le chef d'atelier de son usine, un banquier avec sa maison de banque, un directeur de journal avec l'imprimerie, etc.

Pour toutes ces applications, lorsque les distances ne sont pas trop grandes, et c'est le cas le plus général, les téléphones magnétiques sont les plus simples, en leur adjoignant une sonnerie électrique et quelques éléments Leclanché. Le téléphone Gower peut aussi servir dans certains cas, lorsque les salles où on doit entendre l'appel ne sont pas trop bruyantes, et qu'elles sont toujours occupées, comme les bureaux, par exemple.

Pour l'avertissement, on fait usage en Amérique, avec le téléphone de M. Bell, de sonneries électro-magnétiques qui dispensent de l'emploi d'une pile; il suffit de tourner une manivelle pour développer dans un appareil analogue à la machine de

Clarke des courants électro-magnétiques assez puissants pour actionner une sonnerie au poste récepteur.

M. *Perrodon* a imaginé pour le service militaire un avertisseur téléphonique très pratique dans lequel le courant d'une petite pile portative envoyé dans la ligne fait vibrer la plaque du téléphone du poste opposé sous laquelle un petit système analogue au trembleur des sonneries produit des courants interrompus.

MM. *Siemens* et *Ducretet* emploient comme avertisseur de leurs téléphones des systèmes à languette vibrante très peu différents de celui de M. Gower.

Le téléphone de police à Chicago. — Dans chaque ville d'Amérique le département de la police a été des premiers à se servir des communications électriques établies dans un intérêt social et commercial ; mais la ville de Chicago tient la tête dans cette application des communications télégraphiques ou téléphoniques ; elle les considère comme un facteur essentiel du système de police.

Le but du système est double : augmenter, d'une part, la rapidité et l'efficacité des secours de police en cas d'urgence, diminuer, d'autre part, le nombre des patrouilles, et, par suite, les dépenses qu'elles entraînent, en raison du personnel nombreux qu'elles nécessitent pour être utiles.

Le besoin urgent d'un gardien ou d'un agent en un point particulier d'une ville est en général exceptionnel, et la tendance actuelle, en Amérique, est d'augmenter l'espace placé sous la surveillance de l'un d'eux. Il en résulte que, lorsqu'un accident arrive, les agents sont presque toujours loin de l'endroit où leur concours serait nécessaire ; les voleurs, qui connaissent bien cette particularité, en tirent souvent profit pour troubler l'ordre et porter atteinte aux droits des citoyens.

La remarque, pouvons-nous ajouter, n'est pas particulière à l'Amérique, et il en est de même à Paris. Pour parer à ces inconvénients, il faudrait augmenter dans de très grandes proportions le nombre des agents ; mais ce procédé est beaucoup moins économique que celui adopté à Chicago. Ce moyen con-

siste à faciliter et à rendre très rapide le système de police; pour cela chaque homme en patrouille ou en surveillance est mis en relation, en moins d'un instant, avec la subdivision à laquelle il est attaché, ou, si cela est nécessaire, avec le poste de police d'un district et même le poste central. Chaque citoyen notable honorable peut aussi, en cas de besoin, appeler la police en un temps très court.

Voici maintenant la réalisation pratique du système.

Des postes de police sont établis en certains points convenablement choisis de chaque district; à chaque poste est adjoint une voiture, un cheval et trois hommes toujours prêts à partir. La voiture porte un brancard, des couvertures et les objets nécessaires pour recevoir et soigner une personne malade ou blessée, recueillir un enfant perdu, arrêter les personnes accusées de crime, etc. Les postes de police sont en relation téléphonique avec des *stations d'alarme* publiques, semblables à des guérites, et distribuées le long des rues, de distance en distance. Ces guérites sont juste assez grandes pour renfermer un homme et lui servir de retraite à l'occasion.

Ces stations d'alarme s'ouvrent au moyen de clefs qu'on remet à tous les notables et honorables citoyens de la ville et à tous les agents de police. Pour empêcher l'abus, les serrures des stations d'alarme sont disposées de telle sorte que l'on ne peut plus retirer la clef une fois qu'elle est engagée dans la serrure; les agents de police seuls peuvent le faire. Comme chaque clef porte un numéro d'ordre et que le concours d'un agent de police est nécessaire, la personne qui a donné l'alarme en ouvrant la guérite est ainsi obligée de se faire connaître; l'on évite de la sorte bien des dérangements inutiles, car les détenteurs ouvrent seulement lorsque le secours est nécessaire, et ne prodiguent pas les appels dans la crainte de se faire retirer la clef.

On voit déjà par là que chaque citoyen concourt, par ce moyen, à la surveillance générale et que les secours ne se font pas attendre.

Voici la série des manœuvres à effectuer. Dès que l'accident

arrive, le citoyen le plus voisin possesseur d'une clef se dirige vers la boîte d'alarme la plus rapprochée, l'ouvre et fait le signal, comme nous l'indiquerons un peu plus loin. Aussitôt une escouade de trois hommes avec une voiture et un cheval arrivent au point d'où vient le signal. Si l'agent de police de garde se trouve près de la guérite, il ouvre la boîte et communique avec le poste de police à l'aide du téléphone qu'elle renferme.

Lorsque la guérite est ouverte par un citoyen, celui-ci fait

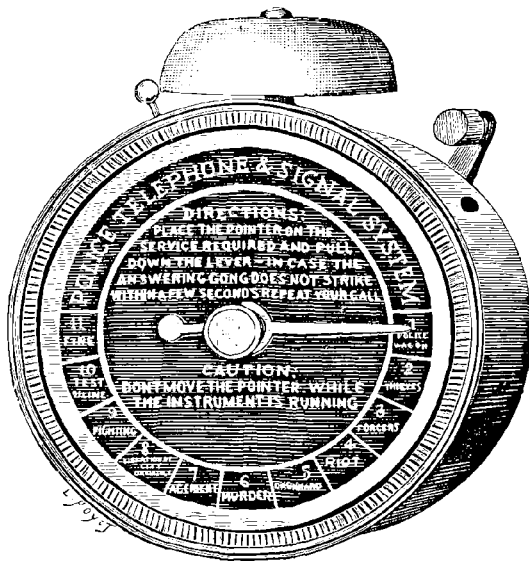


Fig. 129. — Transmetteur des signaux pour les stations d'alarme à Chicago.

l'appel au moyen de l'appareil représenté séparément figure 129; cet appareil permet de transmettre *onze* indications différentes au poste central, en plaçant l'aiguille sur l'une ou l'autre, suivant la nature de l'alarme à donner. Voici ces indications :

1. *Voiture de place.* — 2. *Voleurs.* — 3. *Violences.* —
4. *Émeute.* — 5. *Ivrognes.* — 6. *Meurtre.* — 7. *Accident.* —
8. *Violation de domicile.* — 9. *Rixes.* — 10. *Essai de la ligne.* —
11. *Incendie.*

Pour donner un signal, l'appelant place l'aiguille sur le si-

gnal correspondant et appuie sur le levier représenté sur la droite de l'appareil (fig. 130). En lâchant le levier, l'appareil envoie au poste de police une dépêche conventionnelle indiquant le numéro du poste appelant et la nature de l'appel; le transmetteur est autokinétique; le récepteur est formé d'un télégraphe Morse ordinaire dont la bande est mise en marche automatiquement dès que le premier signal est envoyé.

La figure 130 montre la disposition de la boîte contenue dans la guérite; elle permet à l'agent de service de se placer en communication téléphonique avec le poste de police de son district

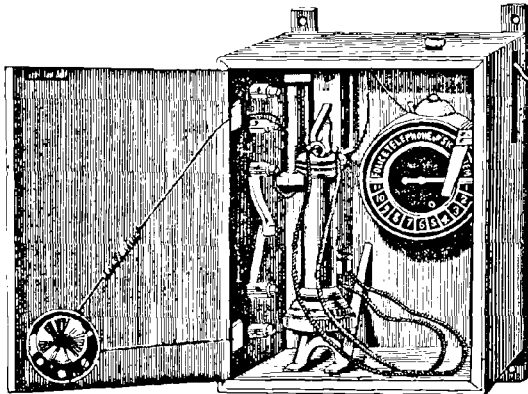


Fig. 130. — Boîte de téléphone des stations d'alarme.

pour des services ultérieurs. Le parleur à charbon est disposé sur le couvercle même et se trouve ainsi tout naturellement à portée de la bouche lorsque la boîte est ouverte.

La planche I (frontispice) représente le système fonctionnant à propos d'un accident; le signal a été donné et l'on voit arriver, sur la gauche du dessin, la voiture de secours, pendant qu'un agent placé dans la guérite d'alarme, explique au poste de police la nature de l'accident, son importance, etc.

Chaque heure ou chaque demi-heure, l'officier de ronde vient dans une des stations d'alarme et fait son rapport *téléphoniquement* au poste de police de son district, ce qui simplifie et facilite

beaucoup le service. Le chef du poste peut ainsi diriger et régler son service sans dérangement.

Le système de Chicago comporte aussi l'installation, dans le domicile particulier de chaque habitation et dans les maisons d'affaires, de boîtes de signaux analogues, avec ou sans adjonction de téléphone. Dans ce dernier cas, les indications se donnent sur le cadran, comme pour les postes d'alarme. Le poste de police a une clef placée sous scellés ouvrant le domicile de chaque abonné. Lorsqu'un appel de nuit est fait — pour vol avec effraction par exemple, — le policeman répond à l'appel en prenant la clef de l'appelant au poste de police, et peut ainsi venir aussitôt saisir le voleur.

Application du téléphone et du microphone à la médecine et aux recherches scientifiques. —

Un instrument d'une délicatesse aussi merveilleuse que le téléphone devait recevoir et a effectivement reçu plusieurs applications dans les études médicales et physiologiques. Nous en citerons quelques-unes.

Microphone de M. Boudet, de Paris, appliqué à la médecine. — Une petite lame de caoutchouc durci de 5 centimètres sur 2, très

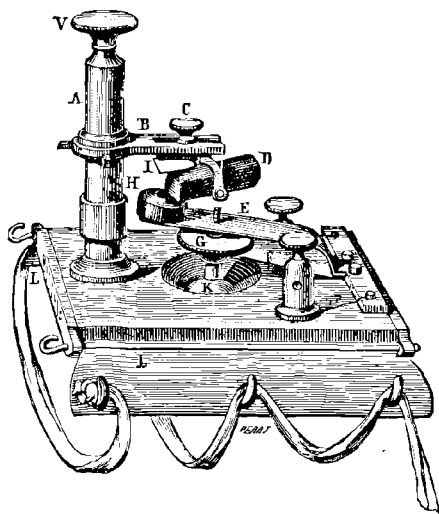


Fig. 131. — Microphone du Dr Boudet, de Paris.

légèrement concave, et percée d'un orifice à son centre, sert de base à l'appareil (fig. 131). A l'une de ses extrémités s'élève une tige, haute de 3 centimètres environ; sur cette tige monte et descend, au moyen d'une vis de réglage, un tout petit chariot de cuivre, entre les montants duquel oscille sur un axe transversal un cylindre de charbon D, long de 1 centimètre

et demi et épais de 5 millimètres. Au-dessus de ce premier charbon vient aboutir l'extrémité libre d'une mince lame de ressort H, placée horizontalement et fixée par son autre bout à l'extrémité opposée de la planchette de caoutchouc. A ce ressort est adaptée une petite lentille de charbon, qui vient toucher l'extrémité du cylindre oscillant de charbon. Enfin, sous ce premier ressort et parallèlement à lui, comme dans le sphygmographe de M. Marey, se trouve un autre ressort terminé par un bouton explorateur, lequel traverse l'orifice de la planchette.

La moindre pression exercée sur ce bouton se transmet par l'intermédiaire des ressorts aux deux contacts de charbon, et fait ainsi varier l'intensité du courant qui les traverse. Ces variations sont recueillies par un téléphone que l'observateur applique à son oreille. La mobilité des deux charbons en contact fait comprendre l'extrême sensibilité de ce microphone. Toutefois, il est nécessaire dans ces expériences, d'obtenir un premier degré de pression initiale, que la vis de réglage peut déjà donner en partie, puisqu'elle permet d'appuyer plus ou moins le cylindre oscillant de charbon sur la lentille inférieure. Mais ceci n'est pas suffisant, car, si l'on explore un pouls un peu ample, les mouvements communiqués aux ressorts soulèveraient brusquement le charbon supérieur et détermineraient des ruptures du courant.

M. Boudet a obvié à cet inconvénient en plaçant à l'intérieur du petit chariot, au-dessus de l'une des extrémités du cylindre oscillant, un petit morceau de papier écolier I plié en forme de V et qui fait office de ressort. L'addition de ce ressort en papier présente plusieurs avantages; le papier est un corps très faiblement et très parfaitement élastique, ainsi que l'ont prouvé les expériences de Savard; par conséquent, il se prête beaucoup mieux que l'acier et le caoutchouc aux déplacements et aux rétablissements des contacts de charbons, ou plutôt aux variations de leur pression réciproque. Ainsi constitué, l'appareil, placé sur une artère, indique tous les bruits qui se passent à l'inté-

rieur du vaisseau, et, avec un peu d'habitude, on arrive très aisément à distinguer les différences du rythme, les bruits de souffle, etc.

Applications scientifiques du téléphone. — Nous ne pouvons décrire dans cet ouvrage toutes les applications scientifiques dont le téléphone et le microphone sont susceptibles, et les immenses services qu'ils ont déjà rendus. Citons entre mille la balance d'induction de M. Hughes auquel on doit l'invention du microphone. L'appareil a été décrit dans *la Nature* du 26 juillet 1879. MM. Hughes et Graham Bell ont appliqué récemment cet appareil à la recherche d'une balle dans une blessure et à sa localisation.

M. *Carlo Resio* a appliqué le téléphone à la mesure de la torsion de l'arbre des machines en mouvement et a imaginé une très intéressante méthode permettant de mesurer le travail dépensé ou produit par un équilibre téléphonique. On trouvera tous les détails de cette application spéciale dans *la Lumière électrique* du 15 mars 1880.

Le téléphone appliqué à l'indication de courants électriques de très faible intensité. — Voici comment M. *d'Arsonval* décrit lui-même cette intéressante application :

« Le téléphone ne peut servir qu'à constater les variations d'un courant électrique, quelque faibles qu'elles soient, il est vrai, mais j'ai trouvé le moyen, par son intermédiaire, de constater la présence d'un courant continu, quelque faible qu'il puisse être. J'y ai réussi en employant un artifice très simple. Je lance dans le téléphone le courant supposé, et, pour obtenir des variations, j'interromps mécaniquement ce courant par un diapason. Si aucun courant ne traverse le téléphone, l'instrument reste muet. Si, au contraire, le plus faible courant existe, le téléphone vibre à l'unisson du diapason. »

Applications diverses. — Les applications que le téléphone a déjà reçues sont innombrables ; plusieurs volumes comme celui-ci ne suffiraient pas à les décrire toutes. L'audiomètre ou sonomètre de M. Hughes, la balance d'induction, la

mesure des résistances, les recherches sur les décharges électriques faites par M. Warren de la Rue, voilà pour les principales applications scientifiques du téléphone. Les communications téléphoniques dans les villes, les ateliers, les usines, la mesure de la torsion de l'arbre des machines en mouvement, l'analyse des métaux par la balance d'induction, constituent les principales applications industrielles.

On s'en est servi pour transmettre des discours, des conférences et des sermons, pour surprendre les conversations criminelles... des prisonniers, etc., etc.

Chaque jour voit naître une nouvelle expérience, un nouveau problème dans lequel le téléphone apporte un moyen d'investigation, un concours précieux, quelquefois même une solution. Dans d'autres cas, au contraire, son emploi fait naître des difficultés nouvelles; les recherches faites pour s'en rendre maître profitent à la fois à la science et à ses applications. Nous en citerons un exemple.

Lorsqu'on a établi des réseaux téléphoniques dans les égouts, le rapprochement obligé des fils a été l'origine d'une difficulté sérieuse de nature à compromettre le développement. Il s'agit de l'*induction* des fils les uns sur les autres, produisant un mélange des conversations et une cacophonie qui rend les conversations très difficiles.

Si, d'autre part, les fils téléphoniques se trouvent à côté des fils télégraphiques et que les lignes soient très développées, l'émission des signaux successifs produit sur les fils des téléphones des bruits qui rappellent à s'y méprendre le *crépitement de la friture* — c'est le nom adopté.

Cette difficulté a suscité bien des recherches et l'on a fait bien des propositions pour la vaincre. Bien que jusqu'ici on n'ait encore bien réussi que par l'emploi du double fil, on peut espérer que d'autres solutions plus économiques donneront les mêmes résultats.

On voit par cet exemple combien la pratique du téléphone — une pratique récente puisqu'elle ne date que de sept années à

peine — a déjà soulevé de questions techniques et scientifiques du plus grand intérêt.

Le développement qu'a pris le téléphone depuis sa découverte est unique dans les annales de la science; il prouve combien va grandissant le rôle de la science dans les progrès de la civilisation, et la portée immense des travaux de l'illustre inventeur du téléphone, le professeur Graham Bell.

QUATRIÈME PARTIE

LES MOTEURS ÉLECTRIQUES.

LA TRANSMISSION DE LA FORCE A DISTANCE.

LA LOCOMOTION ÉLECTRIQUE.

LA DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ.

La physique moderne a établi sur des bases désormais indiscutables l'*unité des forces physiques* et la *conservation de l'énergie*. Les phénomènes électriques et les transformations des effets électriques en effets calorifiques, mécaniques ou chimiques sont une preuve nouvelle de l'exactitude de ce principe.

Pour être complète, la quatrième partie de cet ouvrage, consacrée aux applications mécaniques de l'électricité, devrait aussi englober la *télégraphie*.

Il y a en effet une liaison beaucoup plus grande qu'on ne pourrait croire tout d'abord entre la télégraphie et les effets mécaniques de l'électricité. Un télégraphe Morse, par exemple, n'est autre chose qu'un moteur électrique mis en mouvement par une source placée souvent à une très grande distance et produisant, dans la plupart des cas, des mouvements mécaniques. Dans le télégraphe *à cadran*, par exemple, ce mouvement est un mouvement de *rotation discontinu*. Il va sans dire que l'énergie mise en jeu dans le télégraphe est très faible et n'est utilisée qu'à la production de signaux et à la mise en mouvement d'appareils relativement délicats et légers; ils ne sont donc pas à proprement parler des *moteurs* électriques. Nous ne nous occuperons ici que des appareils avec lesquels on cherche à produire, non plus

des signaux et des actions discontinues, mais un *travail continu* d'une certaine importance.

LES MOTEURS ÉLECTRIQUES.

Lorsqu'on veut produire de la force motrice à l'aide d'un moteur électrique, il faut d'abord s'occuper de produire l'électricité, et en second lieu envoyer cette électricité dans un *récepteur* qui la transforme en force motrice. Ce sont donc deux questions qu'il faut examiner séparément.

Les sources d'électricité. — On n'a pas pu songer à la création d'un moteur électrique pouvant produire un travail appréciable avant l'invention de la pile de *Grove*, sous réserve de quelques tentatives antérieures dont nous parlerons tout à l'heure. La mémorable expérience de *Jacobi* faite sur la Néva, en 1839, avec une pile Grove de 120 éléments, montra qu'on pouvait produire électriquement une certaine quantité de travail. A cette époque, on connaissait mal le rendement des piles, et encore plus mal le mode de transformation de l'énergie électrique en travail mécanique.

Aujourd'hui les nombreux travaux qui ont été faits sur les piles voltaïques permettent de déterminer exactement le travail maximum disponible d'un élément donné, et la fraction de ce travail utilisable, suivant les conditions relatives de la pile, du circuit et du moteur.

Une pile donnée peut être comparée à une chute d'eau : elle fournit, comme cette dernière, un certain *volume* débité à une certaine *pression* pendant l'unité de temps. Le volume c'est la *quantité* d'électricité que la pile peut fournir, la pression c'est sa force *électro-motrice*. Le travail *maximum* que peut fournir une chute d'eau pendant l'unité de temps est égal au produit du volume d'eau débité par la hauteur de chute. De même, le travail *maximum* que peut fournir une pile est égal au produit de la quantité d'électricité par la force électro-motrice.

Il y a donc déjà une limite théorique qu'on ne saurait dépasser.

ser, et encore bien moins atteindre, car il faut tenir compte des pertes de courant dans les conducteurs, de l'échauffement des fils, et du rendement du moteur, rendement qui varie avec sa vitesse, et qui modifie dans de très grandes proportions le rapport entre l'énergie électrique dépensée par la source et le travail mécanique produit. Ajoutons encore que la pile consomme un combustible très cher, le zinc, et qu'elle ne le consomme que très lentement. Il en résulte que la pile, considérée au point de vue de l'énergie électrique mise en jeu, est un appareil très dispendieux, très lourd et très encombrant. On s'explique maintenant pourquoi les moteurs électriques mis en mouvement par des piles — quel qu'en soit le système — n'ont pas donné jusqu'ici les résultats qu'on en attendait au début; aussi n'ont-ils reçu jusqu'ici qu'un petit nombre d'applications, pour produire des forces ne dépassant pas quelques kilogrammètres. Nous en citerons quelques cas.

Lorsqu'il s'agit de très petites forces fonctionnant à des intervalles irréguliers, avec de longs repos, et ne représentant, en somme, qu'une somme minime d'énergie, une machine à coudre, par exemple, il est possible d'employer les accumulateurs. Cent kilogrammes d'accumulateurs alimenteront une machine à coudre pendant une semaine, avec un travail moyen de deux à trois heures par jour. En chargeant ces accumulateurs avec des machines dynamo-électriques, et en les portant tout chargés à domicile, on entrevoit un mode de fonctionnement, sinon économique, du moins acceptable, en attendant la distribution de l'électricité à domicile, dont nous parlerons plus loin. Les accumulateurs pourront aussi servir pour utiliser à volonté des forces naturelles variables à chaque instant comme le vent et les marées, ils joueront à la fois le rôle de réservoir et de régulateur. Mais il s'agit alors de transport et de distribution de force à distance, et non plus d'un moteur alimenté par une source électrique, et nous renvoyons l'examen de ce cas à la distribution de l'électricité.

Les moteurs électriques. — Si l'on en croit M. Figuié,

la première tentative faite pour créer un moteur électrique remonte à l'année 1831, et est due à l'abbé *Salvator del Negro*, de Padoue. On ne connaissait à cette époque que les piles à un seul liquide, et le moteur de l'abbé de Negro n'a pas pu donner de bien grands résultats, ne fût-ce qu'à cause de l'inconstance de la source. L'invention de la pile de Grove, en 1839, en mettant entre les mains des chercheurs une source électrique relativement puissante, fut l'origine de nouvelles tentatives. L'expérience de *Jacobi* sur la Néva est la première en date. En 1840, MM. *Patterson* présentèrent à l'Académie des sciences un moteur électrique qui devait servir à l'impression d'un journal hebdomadaire, et qui ne servit en réalité à rien du tout. En 1842, un Anglais, *Davidson*, aurait, dit-on, fait marcher une locomotive de huit tonnes à une vitesse de huit kilomètres à l'heure sur la ligne d'Édimbourg à Glasgow; mais la réalité de ce fait est aussi peu prouvée que l'annonce faite par *Page*, en 1850, d'un moteur pouvant produire cinq chevaux.

Un très grand nombre de moteurs imaginés depuis l'expérience de *Page* ne présentent d'ailleurs qu'un intérêt purement rétrospectif. En réalité, aucun d'eux n'a fourni un travail supérieur à quatre kilogrammètres; on ne doit les considérer que comme des jouets électriques.

Aujourd'hui, grâce à une étude plus complète des phénomènes qui se produisent dans le fonctionnement des moteurs, on est arrivé à les perfectionner, à les simplifier et à améliorer beaucoup leur rendement. Ainsi, par exemple, on a fait disparaître les moteurs à mouvements de va-et-vient qui se prêtaient assez mal aux grandes vitesses. Les moteurs électriques modernes sont tous *rotatifs*.

Pour les petites puissances, la partie mobile est une bobine Siemens en double T; dès qu'il s'agit de produire plus de dix kilogrammètres, on emploie avec plus d'avantages les machines dynamo-électriques à courant continu.

Moteur électrique de M. Marcel Deprez. — L'appareil

représenté figure 132 n'est autre chose qu'une bobine de Siemens se mouvant entre les branches d'un aimant. En disposant la bobine longitudinalement entre les branches de l'aimant au lieu de la placer transversalement, comme le faisait M. Siemens dans ses machines, M. Deprez utilise toute la puissance de l'aimant et rend le moteur plus léger et moins coûteux à puissance égale. Le courant de la source arrive aux coquilles du commutateur par deux balais formés de fils de laiton très fins, comme dans la machine Gramme. Le courant qui traverse la bobine change de sens chaque demi-tour, au moment où les pôles qu'il détermine

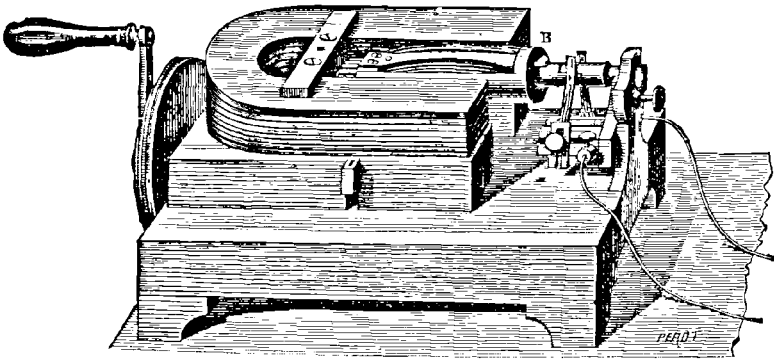


Fig. 132. — Moteur magnéto-électrique de M. Marcel Deprez.

passent devant ceux de l'aimant. Les balais sont montés sur un support pouvant tourner autour de l'axe de la bobine. On peut changer ainsi le calage du commutateur et la vitesse du moteur suivant l'effort qu'il doit produire. Le modèle de la figure 132 porte un aimant de 1700 grammes, la bobine pèse 400 grammes et le poids du moteur complet n'atteint pas 4 kilogrammes. A la vitesse de trois mille tours par minute, il développe 2, 5 kilogrammètres avec huit éléments Bunsen plats, modèle Ruhmkorff. Lorsque la vitesse tend à devenir trop grande, un petit ressort, en communication fixe par une de ses extrémités avec un des bouts du fil de la bobine et venant s'appuyer par son autre extrémité sur une des coquilles du commutateur, s'écarte

par l'effet de la force centrifuge. Le circuit est rompu et reste ouvert jusqu'à ce que la vitesse redevienne normale. En pratique, les ruptures et les fermetures de circuit se produisent assez rapidement pour que les variations de vitesse ne dépassent pas $\frac{1}{700}$ de la vitesse normale.

Moteur de M. Trouvé. — Le moteur de M. Deprez est magnéto-électrique, celui de M. Trouvé est dynamo-électrique. La bobine Siemens se meut entre les branches d'un électro-aimant plat en U ; les faces extérieures de la bobine sont un peu

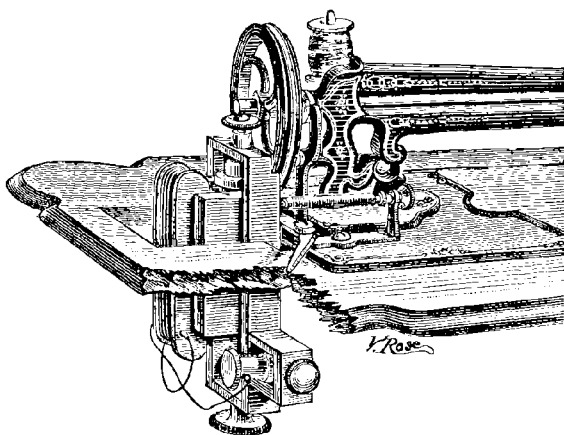


Fig. 133. — Moteur de M. Trouvé appliqué à une machine à coudre.

excentrées, ce qui a fait disparaître le point mort. M. Trouvé a disposé son moteur sur le gouvernail d'un petit canot : les cordes qui dirigent le gouvernail servent en même temps de conducteurs ; le courant est fourni par une pile à treuil au bichromate de potasse placée au milieu du canot. L'hélice actionnée par le moteur est placée sur le gouvernail, et tourne avec lui ; aussi le canot évolue-t-il avec la plus grande facilité.

Le moteur de M. Trouvé a été aussi appliqué par M. Journaux à une machine à coudre ; il est alimenté par trois accumulateurs. Le moteur (fig. 133) est placé verticalement ; son arbre porte une poulie garnie de caoutchouc qui s'applique contre le volant

de la machine et l'entraîne. On règle la pression de la poulie contre le volant à l'aide d'un ressort. Pour rendre à la machine son indépendance, il suffit de manœuvrer un petit levier en équerre qui éloigne le moteur, il n'y a plus alors contact entre la poulie et le volant, la machine peut marcher à la pédale lorsque les accumulateurs font défaut. Le commutateur pour la mise en marche et l'arrêt se manœuvre avec la pédale.

On règle la vitesse en exerçant une pression plus ou moins grande sur la même pédale. Cette pression a pour effet d'exercer une tension graduée sur une chaîne composée d'un certain nombre de maillons en argent, intercalée dans le circuit du moteur et de la source électrique. On obtient ainsi une série de contacts microphoniques dont la résistance plus ou moins grande influe sur l'intensité du courant et, par suite, sur la vitesse de la machine. Cette disposition ingénieuse est due à M. Reynier.

Moteur de M. Griscom. — Il a été spécialement combiné pour actionner des machines à coudre. Sa longueur ne dépasse pas 10 centimètres et son poids 1150 grammes.

Il se compose (fig. 134), en principe, d'une bobine de Siemens tournant entre les deux pôles d'un électro-aimant annulaire à points consécutifs; elle est ainsi entièrement renfermée dans l'inducteur qui la protège. Toutes les pièces sont en fonte malléable dont la force coercitive est aussi faible que celle du fer doux. Ce moteur se fixe très simplement sur toutes les machines déjà existantes à l'aide d'un petit support droit ou en équerre et un petit écrou à oreille placé à la partie inférieure.

Le générateur électrique employé par M. Griscom est une pile au bichromate de six éléments. La vitesse du moteur se règle en plongeant plus ou moins les éléments dans le liquide à l'aide d'une pédale placée sur le côté de la boîte qui contient les éléments: une seule charge suffit, d'après M. Griscom, pour effectuer de 500 à 1000 mètres de couture, soit en quinze jours, soit en six mois, à intervalles irréguliers.

Il serait trop long d'examiner tous les modèles de petits moteurs. Jusqu'à nouvel ordre, le développement de leurs ap-

plications nous paraît entièrement subordonné à la distribution de l'électricité.

Les moteurs à bobines de Siemens et leurs modifications multiples peuvent rendre des services, lorsqu'il s'agit de produire des moteurs de faible puissance et d'une construction économique. Ils présentent cependant un inconvénient de nature à limiter leur emploi aux petites forces. Dans ces moteurs, le courant

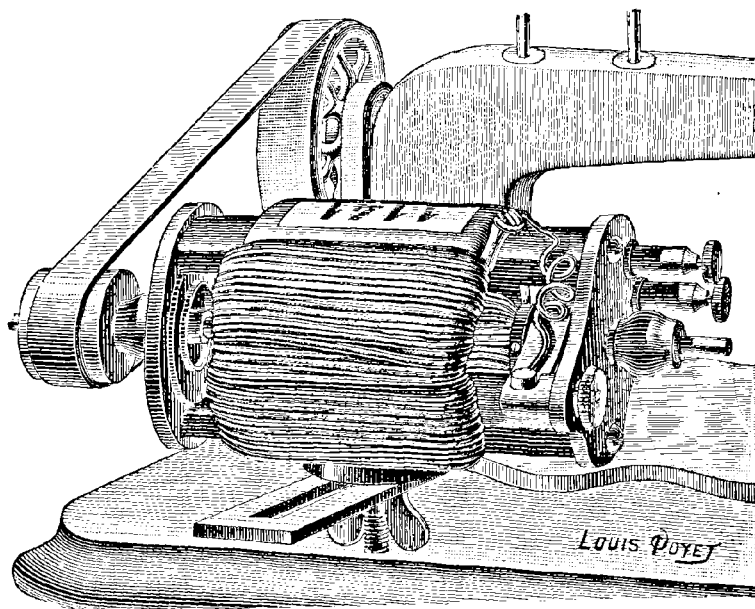


Fig. 134. — Moteur électrique de M. W. Griscom.

fourni par la source électrique n'est pas continu, il est interrompu au moment où le courant change de sens dans la bobine, ou bien, si les coquilles du commutateur sont très rapprochées, il s'établit une communication directe par les balais à chaque demi-tour plaçant ainsi la source électrique en *court circuit* et augmentant la dépense à l'instant même où elle ne produit pas de travail utile. Dans l'un et l'autre cas, la discontinuité d'action est défavorable au rendement, aussi tous les moteurs que nous avons signalés jusqu'ici sont-ils inférieurs aux ma-

chines électro-dynamiques fonctionnant comme électro-moteurs.

Réversibilité des machines électro-dynamiques. — Nous savons qu'en mettant en mouvement une machine électro-dynamique, elle produit un courant électrique. Inversement, si on fournit un courant électrique à une machine électro-dynamique, elle se mettra en mouvement.

Dans le premier cas, le travail se transforme en électricité, dans le second, c'est l'électricité qui se transforme en travail. On exprime ce fait en disant que les machines électro-dynamiques sont *réversibles*. Il en résulte que, puisque les machines dynamo-électriques à anneau de Gramme engendrent un courant *continu*, elles dépenseront aussi un courant *continu*, et se trouveront dans les meilleures conditions pour bien utiliser le courant fourni d'une façon *continue* par la source électrique.

Le principe de réversibilité, introduit par Carnot dans la science, a permis de réaliser la transmission de la force à distance par l'électricité dans des conditions de simplicité et d'économie dont on apprécie encore à peine les avantages.

LA TRANSMISSION DE LA FORCE A DISTANCE.

On a souvent intérêt à transmettre à distance une force produite en un point donné, soit pour l'apporter du point de production au point de consommation, soit pour la répartir en un certain nombre de points par portions égales ou inégales, soit enfin pour la distribuer d'une façon générale et l'utiliser à un grand nombre d'applications.

L'air comprimé, les canalisations de vapeur ou de gaz d'éclairage, les distributions d'eau, les câbles téléodynamiques, les arbres de transmission dans les grands ateliers, résolvent en partie le problème dans des cas particuliers ou spéciaux; aucun de ces modes de transport n'apporte une solution aussi générale que l'électricité qui, à l'aide d'organes d'une extrême simplicité, peut produire, suivant les besoins, de la chaleur, de la lumière, de la force motrice ou des actions chimiques.

Nous examinerons seulement ici le cas d'une transmission de force à distance et les applications dont la solution est susceptible. Les autres cas font partie de la distribution de l'électricité.

La transmission de la force à distance est fondée sur le principe de la *réversibilité* des machines magnéto et dynamo-électriques. Ce principe peut s'exprimer ainsi d'une façon simple :

Toute machine qui produit de l'électricité en dépensant du travail peut, inversement, produire du travail en dépensant de l'électricité.

Les applications du transport électrique de la force à distance au labourage, à la traction des véhicules, à l'élévation des eaux, au percement des roches, à la mise en action des machines-outils dans les ateliers, etc., sont toutes fondées sur ce principe général. Toutes les machines à courants continus permettent d'effectuer ce transport dans des conditions économiques qui dépendent des éléments de fonctionnement des machines, de la quantité de travail transmise, de la vitesse des machines, etc.

Pour fixer les idées, prenons le cas le plus simple, une machine magnéto-électrique génératrice, mise en mouvement à une vitesse *constante*, par un moteur hydraulique ou à vapeur, reliée par un conducteur à une seconde machine réceptrice fonctionnant comme *moteur*.

Supposons d'abord que la résistance du conducteur interposé soit négligeable, et augmentons-la par la pensée en éloignant le moteur. Le générateur développe une certaine force électro-motrice E . Le récepteur développe par sa rotation une force contre-électro-motrice E' , en sens inverse de celle du générateur. Ceci admis, on démontre que si on éloigne les deux machines, le rendement, c'est-à-dire le rapport entre le travail dépensé et le travail produit, est constant, quelle que soit la résistance du conducteur interposé. L'allongement du conducteur influe seulement sur la *quantité* de travail dépensée et la *quantité* de travail produite, sans changer leur rapport, c'est-à-dire sans changer théoriquement le *rendement*.

Pour transmettre à une distance plus grande la même somme

de travail, il faut augmenter les forces électromotrices des deux machines. En pratique on n'est limité que par l'isolement des fils sur les lignes et dans les machines.

M. *Marcel Deprez* a démontré par le calcul qu'avec deux machines dynamo-électriques identiques, à fil fin, la première produisant une force électro-motrice de 7000 volts et dépensant une force de seize chevaux, il serait possible de recueillir sur la seconde, à 50 kilomètres de distance, en employant comme conducteur un fil de fer de 4 millimètres de diamètre, une force de dix chevaux. Le rendement serait de 65 p. 100.

Plus récemment, M. *Maurice Lévy*, en étudiant les résistances relatives qu'il convient de donner aux deux machines, est arrivé à un rendement de 75 p. 100 pour la même distance et la même force électromotrice initiale du générateur.

Il semblerait résulter de ces calculs que le transport électrique de la force à distance est réalisable aujourd'hui dans des conditions économiques, et qu'on ne tardera pas à s'en servir pour l'utilisation des forces naturelles restées jusqu'ici sans emploi. Des expériences faites en 1882 à Munich, et en 1883 à Paris et à Grenoble, montrent qu'il faut malheureusement en rabattre — et beaucoup — des espérances de la première heure.

Ces expériences ont mis ce fait en évidence que, dès que la distance de transmission devient un peu grande, le capital engagé dans les machines et la ligne est hors de proportion avec le résultat obtenu, et tout l'avantage économique disparaît.

La perte par l'échauffement de la ligne réduit aussi très rapidement la distance de transport, comme il est facile de le démontrer. En effet, cette perte est proportionnelle à la résistance de la ligne et au carré de l'intensité du courant. Il faut donc, pour limiter cette perte, augmenter R , ce qui conduit à des conducteurs de grandes dimensions, ou réduire I , ce qui oblige à l'emploi de tensions énormes, incompatibles avec la sécurité publique et les conditions d'un bon isolement pratique. Les tensions essayées jusqu'ici n'ont guère dépassé 3000 volts, et l'on sait à quel point elles sont inquiétantes. Certains esprits hardis parlent

de 8000, 10000 et même 30000 volts... sur le papier. Jusqu'à preuve du contraire, nous ne croyons pas à la possibilité d'un emploi *pratique* de ces hautes tensions, soit sur des lignes aériennes, soit sur des câbles souterrains qui n'ont pas encore été soumis, à notre connaissance, à des tensions aussi élevées.

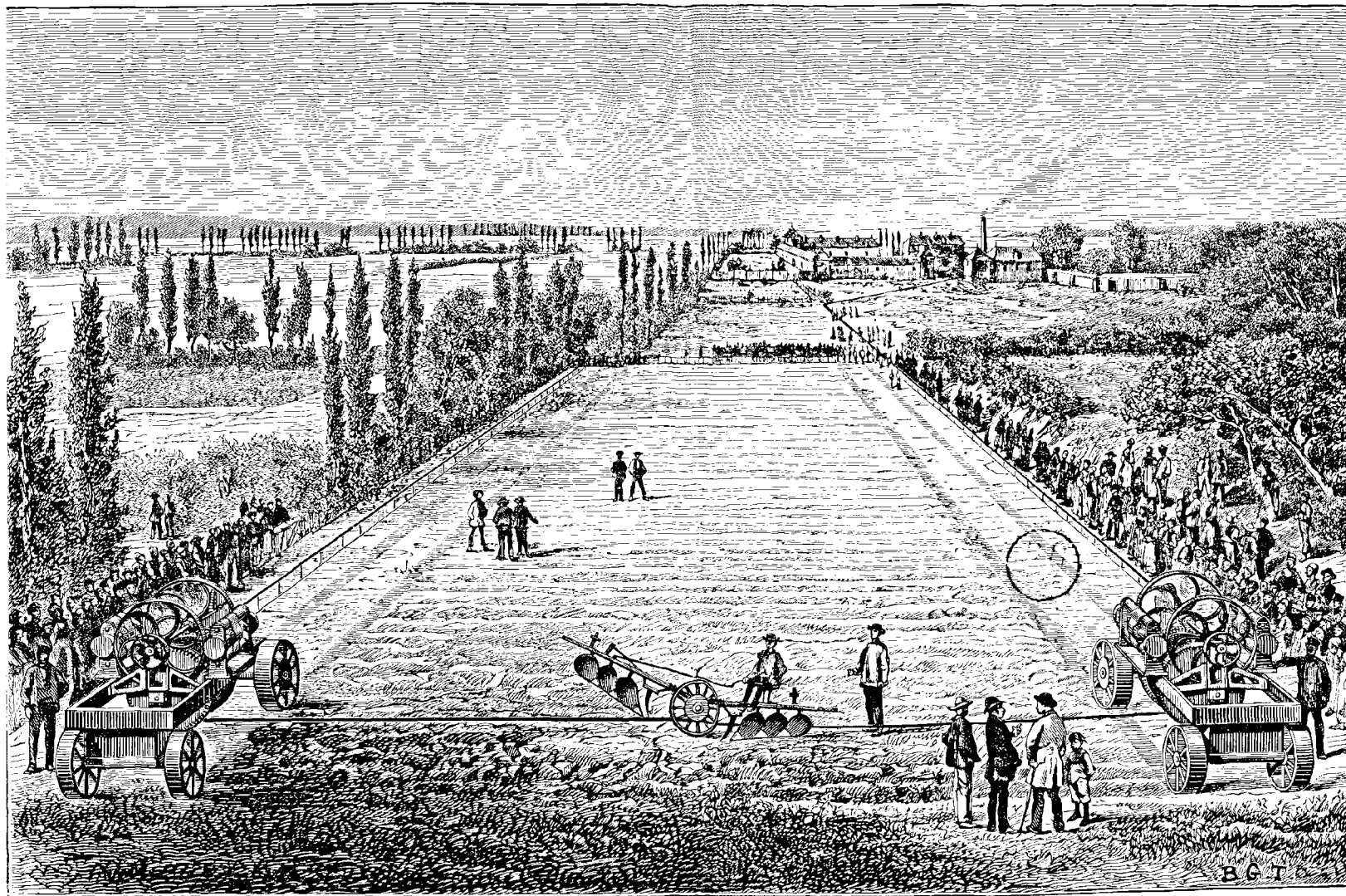
Les applications de l'électricité comme mode de transport de la force à distance ont précédé d'ailleurs de beaucoup l'idée de leur emploi à l'utilisation des forces naturelles. On s'en est servi déjà pour transporter à distance des forces produites en un point donné par un moteur à gaz ou à vapeur. Nous parlerons des plus importantes de ces applications.

Sans vouloir examiner ici à qui revient l'idée d'appliquer le principe de la réversibilité des générateurs électriques au transport de la force à distance, on peut certifier que la première application en a été faite par M. *H. Fontaine*, en 1873, à l'Exposition de Vienne, à l'aide de deux machines de Gramme dont l'une, le générateur, était actionnée par la transmission générale de l'Exposition, et dont l'autre, recevant le courant produit par la première, mettait en mouvement une pompe rotative placée dans l'annexe. D'autres applications furent ensuite faites dans l'atelier d'artillerie de Saint-Thomas d'Aquin, chez M. *Cadiat*, etc.

MM. *Chrétien et Félix* se servirent en 1878 de machines Gramme pour décharger des bateaux et charger des wagons, la source électrique étant placée à 100 mètres de l'appareil de déchargement, etc.

Labourage électrique. — Cette application faite par MM. Chrétien et Félix a été expérimentée publiquement à Sermaise le 22 mai 1879 ; la planche IV représente les dispositions principales de cette intéressante expérience.

Deux treuils à quatre roues placés de chaque côté du champ à labourer reçoivent l'électricité de l'usine, fournie par des machines Gramme à l'aide de fils conducteurs. Un commutateur envoie le courant tantôt à un treuil, tantôt à l'autre. Ces treuils sont mus chacun par deux machines Gramme ; chacune d'elles



PREMIÈRE EXPÉRIENCE DE LABOURAGE A L'ÉLECTRICITÉ FAITE A SERMAIZE LE 22 MAI 1879.

présente une poulie enveloppée d'un anneau de caoutchouc qui presse contre un volant à surface polie et l'entraîne, la pression entre le volant et l'anneau est réglée par un ressort relié aux supports mobiles de la machine Gramme. Les treuils commandent tour à tour une charrue à quatre socs dont deux travaillent dans chaque sens, le câble de fils d'acier qui la tire s'enroulant d'un côté lorsqu'il se déroule de l'autre et inversement.

Lorsque le double sillon est tracé, les deux treuils sont déplacés en changeant, par un embrayage, la commande des machines Gramme qui agissent alors sur le train d'arrière du charriot.

On aura intérêt à appliquer ce procédé lorsque, comme dans l'usine électrique de M. Menier, à Noisiel, une chute d'eau fournira économiquement la force motrice, et qu'on voudra utiliser le travail mécanique disponible dans ces conditions au labourage et à tous les autres travaux d'agriculture. Aux environs de certaines usines, les sucreries par exemple, dans lesquelles les moteurs à vapeur chôment une grande partie de l'année, on aura aussi intérêt à employer le labourage électrique pour utiliser les moteurs. Dans le cas où l'installation des machines serait spéciale à ces applications, l'avantage, possible dans certains cas exceptionnels, nous paraît très problématique en général.

La traction électrique des chemins de fer aériens et souterrains dans les grandes villes. — La traction électrique des chemins de fer dans les villes est étroitement liée à celle de la distribution de l'électricité à l'aide d'usines centrales convenablement réparties en certains points. Les premières expériences faites à Berlin, en 1879, par M. Werner Siemens montrent que la question est pratiquement résolue. Un projet d'établir un chemin de fer électrique traversant la ville de Berlin

a été soumis à l'administration ; les raisons qui l'ont fait rejeter sont étrangères à la science. Le premier chemin de fer de démonstration a été construit à Berlin en 1879. La locomotive (fig. 135) remorquait trois petits wagons chargés de six personnes chacun. La locomotive recevait le courant par un rail central isolé sur des traverses de bois et des balais composés de petits fils de cuivre placés sur le remorqueur et venant s'appliquer contre le rail central sur ses deux faces latérales. Ce rail est relié au pôle positif du générateur mis en mouvement par un

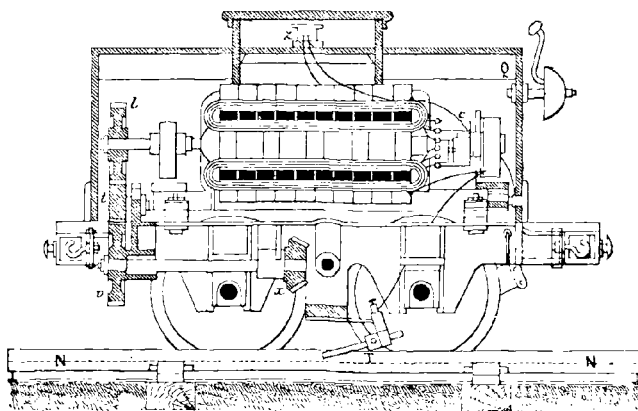


Fig. 135. — Coupe longitudinale de la locomotive du premier chemin de fer électrique ayant fonctionné à Berlin en 1879.

moteur à vapeur, les rails ordinaires étant reliés au pôle positif.

La locomotive se compose d'une machine dynamo-électrique de Siemens transmettant le mouvement aux roues par une série d'engrenages (fig. 135) ; un commutateur à la portée de la main du conducteur assis sur la machine sert à la mise en marche et à l'arrêt. A une vitesse de 3, 5 mètres par seconde, la locomotive produisait un travail effectif de trois chevaux.

Le premier petit chemin de fer établi à Berlin a fonctionné ensuite en 1880, à l'Exposition de Bruxelles, à celle de Milan, au Palais de Cristal, à Londres, etc.

Depuis le mois de mai 1881, il existe à Berlin un chemin de

fer électrique plus important qui fait un service public entre Lichterfelde et l'école des Cadets, sur une longueur de plus de deux kilomètres. Le véhicule est une voiture automobile présentant l'aspect d'un tramway sans impériale, et pouvant transporter vingt voyageurs.

La transmission du mouvement aux roues se fait à l'aide de poulies et de cordes en acier, le courant arrive à la machine par les rails et les roues, le véhicule se meut en avant ou en arrière indistinctement. La manœuvre se fait par un simple commutateur placé sous la main du conducteur avec le frein et le timbre à signaux. Une seule personne suffit pour percevoir le prix des places et manœuvrer l'appareil. La vitesse moyenne est de 15 kilomètres à l'heure, la vitesse maximum réglementaire 20, mais il est possible de dépasser beaucoup cette vitesse.

On devine les avantages que présente la traction électrique sur la traction par machines à vapeur dans les grandes villes. La force étant produite par des machines fixes et puissantes coûtera moins cher qu'avec les locomotives, malgré les pertes inévitables causées par les conducteurs et les transformations.

La traction électrique se prête merveilleusement aux installations souterraines ou suspendues, car elle supprime radicalement la fumée, la vapeur, les escarbilles, la mauvaise odeur, l'insalubrité des tunnels si l'on est en souterrain, les dangers d'incendie si l'on est en chemin aérien.

L'électricité se prête ainsi à la traction des *tramways*, et l'Exposition d'électricité nous en a montré la première application.

La figure 136 représente le premier tramway électrique établi entre la place de la Concorde et le Palais de l'Industrie.

Les rails d'un tramway devant être disposés à fleur du sol ne peuvent servir de conducteurs. On ne peut même pas employer les rails comme fils de retour, car la boue en se collant aux rails et aux jantes des roues isole électriquement le véhicule du conducteur. On a donc disposé sur le côté de la voie deux tubes en laiton de 22 millimètres de diamètre, suspendus à une certaine hauteur et soutenus par une série de poteaux. Ces deux tubes

isolés entre eux communiquent avec les deux pôles de la machine

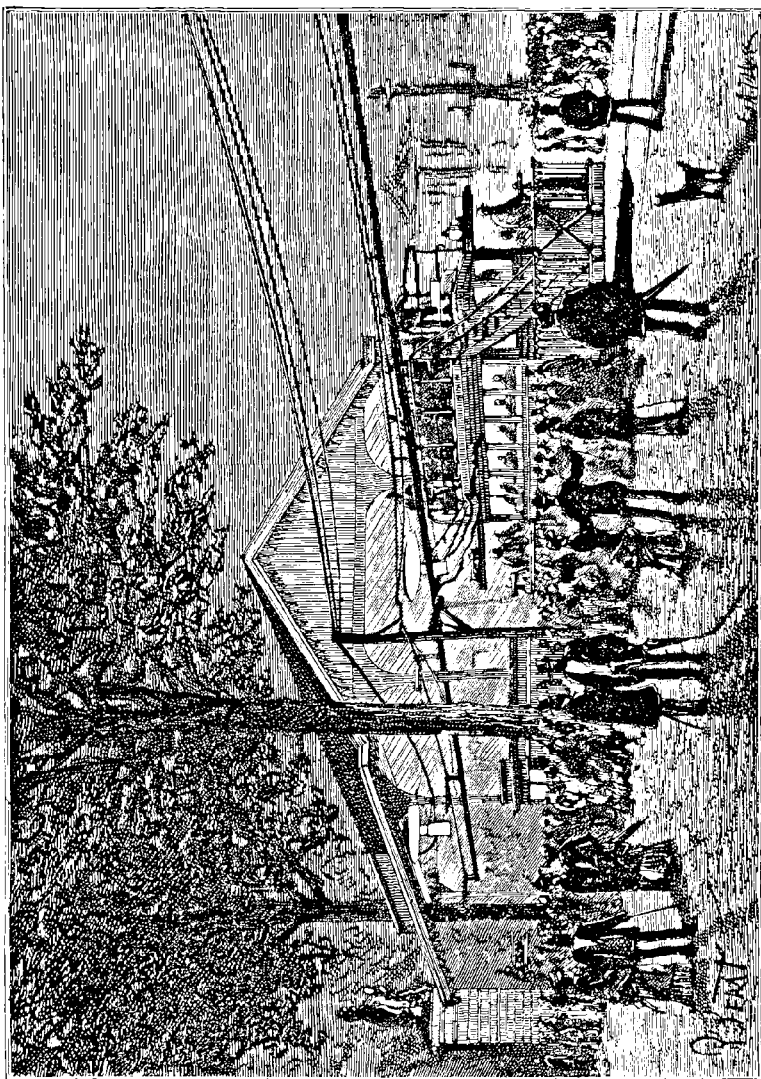


Fig. 136. — Tramway électrique de l'Exposition d'électricité de Paris (1881).

génératrice. Ils sont fendus à la partie inférieure sur une largeur d'environ un centimètre.

Dans ces tubes glissent deux chariots identiques en communication avec la voiture à l'aide de conducteurs souples.

La figure 137 représente l'un de ces chariots. Il se compose d'un châssis rectangulaire portant en son milieu une roulette dont la gorge R est demi-cylindrique et vient s'appliquer contre la partie extérieure du conducteur C. Dans ce tube glisse un noyau cylindrique de 13 centimètres de longueur sur lequel sont fixées, à ses extrémités, deux tiges verticales A, B qui supportent la roulette ou galet. Deux ressorts poussent le galet contre le tube en s'appuyant contre ces tiges verticales et maintiennent

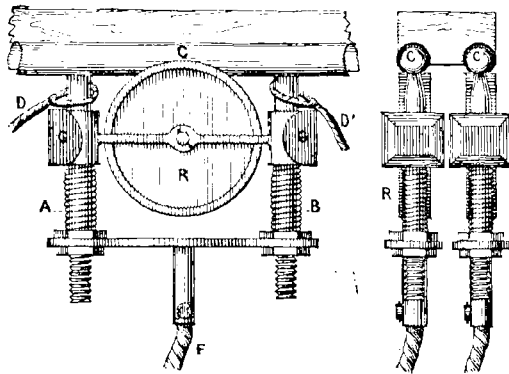


Fig. 137. — Chariot amenant le courant au tramway.

un contact élastique entre le tube et le galet. Le chariot peut donc se déplacer; le galet *roule* contre le tube, le noyau *glisse* dans l'intérieur, sans que la communication cesse d'être, sinon parfaite, du moins très suffisante pour la pratique. On aperçoit seulement de temps en temps quelques étincelles au moment où les chariots passent aux points d'assemblage des tuyaux; ces étincelles sont dues à des ressauts qui produisent de petites ruptures de courant instantanées sans importance pour le fonctionnement régulier du système. Le courant arrive à la machine de la voiture par le conducteur en cuivre F. La traction du chariot s'exerce par les cordes D ou D', suivant le sens de translation du véhicule.

Au point de vue des applications de la traction électrique dans les villes, les tramways électriques ne seront employés que dans des cas très particuliers. On leur préférera presque toujours les chemins de fer suspendus qui ont l'avantage de dégager les voies et de diminuer leur encombrement partout où on les rétablira. Plusieurs projets sont étudiés dans ce but. Celui de M. Siemens, de Berlin, qui propose de placer les voies en bordure sur les trottoirs, et celui de M. Chrétien, qui propose de placer une voie double au milieu de la chaussée en la supportant de distance en distance par des piliers, sont ceux qui représentent le plus de chance de succès dans les grandes villes où le développement du réseau des égouts, des tuyaux d'eau et de gaz, s'opposent à la création de chemins de fer souterrains.

Le tramcar électrique. — On a pu voir circuler dans Paris, pendant l'année 1883, un tramcar électrique mis en mouvement par un moteur électrique alimenté par des accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar. Ces accumulateurs logés sous les banquettes ont permis de réaliser, avec une voiture de tramway ordinaire de la Compagnie des omnibus, des trajets de 35 à 40 kilomètres sans rechargement. C'est là une expérience curieuse et intéressante mettant bien en relief la puissance d'emmagasinement et de débit des accumulateurs, mais nous nous refusons à y voir la source d'une exploitation économique. Les accumulateurs n'ont pas encore fait leurs preuves de durée, et leur intermédiaire est trop onéreux pour en faire la base d'applications dans lesquelles l'économie est la principale condition à remplir.

Les tricycles électriques. — Bien que le tricycle représenté (fig. 138) soit plutôt un appareil d'expérience qu'un appareil pratique, nous croyons devoir en dire quelques mots, car c'est là une application de luxe qui trouvera bon nombre d'amateurs du jour où elle sera devenue possible, avec des modèles plus perfectionnés et mieux appropriés à leur destination.

L'énergie électrique est fournie par dix accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar qui mettent en mouvement un moteur élec-

trique de MM. Ayrton et Perry, capable de développer jusqu'à 22 kilogrammètres par seconde et ne pesant que 18 kilogrammes. Ce moteur commande directement une des grandes roues du tricycle. Le voyageur a sous la main un commutateur permettant de faire varier à volonté le nombre des accumulateurs

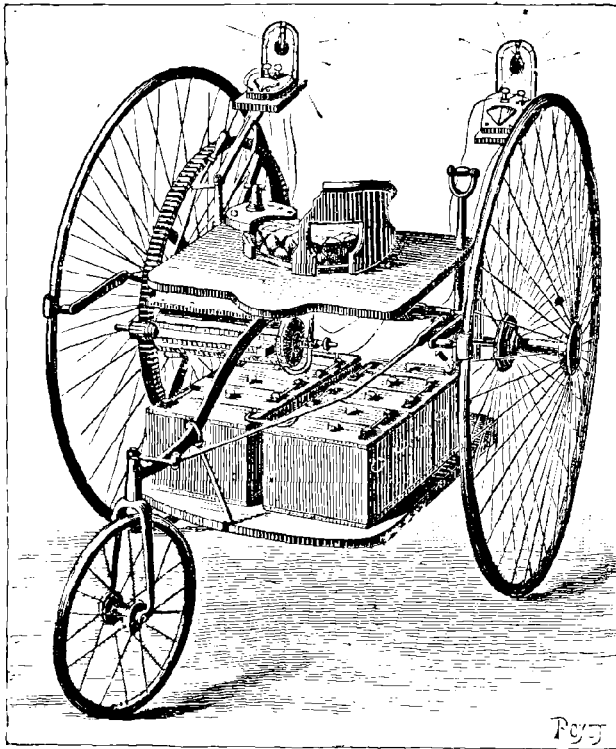


Fig. 138. — Tricycle électrique à accumulateurs.

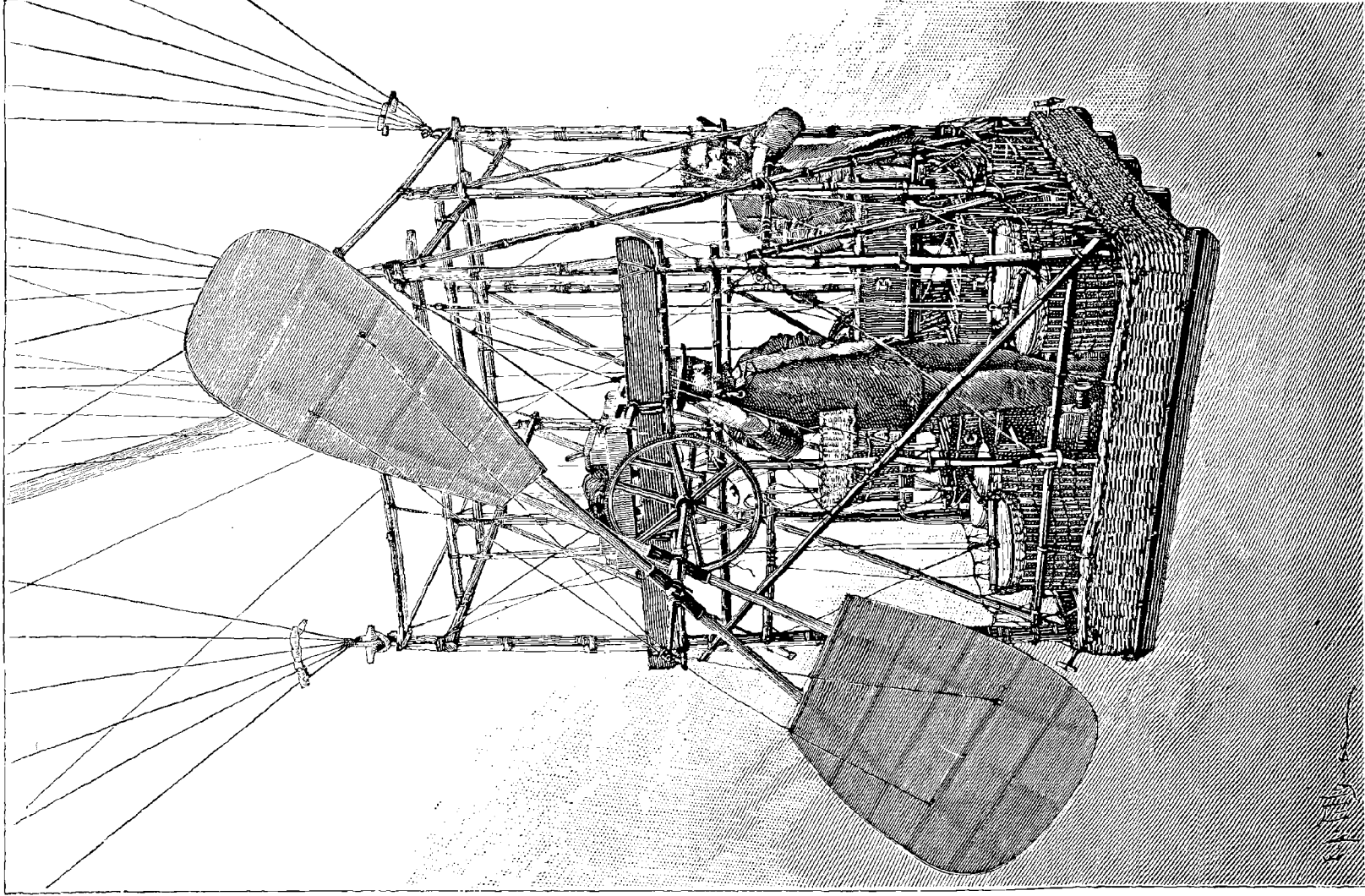
en circuit sur la machine, suivant la nature du terrain et la vitesse à obtenir, le frein et le levier de direction. Un ampère-mètre et un volt-mètre indiquent à chaque instant l'énergie électrique dépensée. Enfin deux petites lampes Swan servent à la fois de lanternes réglementaires et d'éclairage pour les appareils de mesure. Le jour n'est pas éloigné où il sera du dernier

ulan d'aller se promener au bois, à l'heure du *persil*, sur l'*electric-tricycle*.

Le telpherage. — Tel est le nom nouveau donné à un nouveau système de locomotion dû à la collaboration de MM. Fleming-Jenkin, Ayrton et Perry. Le but de ce système, encore à l'état d'étude, et dont les premières expériences datent seulement de novembre 1883, a pour objet le transport rapide et économique des matériaux de construction ou des produits d'exploitation de mines, à l'aide de lignes légères composées de câbles suspendus servant à la fois de supports et de conducteurs à des bennes remorquées par une petite locomotive électrique de forme appropriée à ce service spécial. Nous souhaitons bon succès au telpherage.

La navigation électrique. — La navigation de plaisance, le sport nautique utilisent déjà avec succès les bateaux mus par des moteurs électriques. La source est tantôt une pile au bichromate, comme dans les bateaux de M. Trouvé, tantôt un accumulateur, comme dans les expériences faites en 1883 sur la Tamise, à Londres, et sur le Danube, à Vienne, pendant l'Exposition. La question économique disparaît ici complètement, et l'on conçoit que les facilités d'emploi que présentent les moteurs électriques conviennent tout particulièrement à cette application de luxe.

Les aérostats électriques dirigeables. — Après avoir examiné les applications de la locomotion électrique sous terre, sur terre et dans l'eau, nous ne pouvons passer sous silence les intéressantes expériences de locomotion *aérienne* faites en 1883 par MM. Albert et Gaston Tissandier. Au point de vue de la locomotion aérienne, le moteur électrique présente l'avantage de constituer un système à poids constant, facile à mettre en marche et à arrêter et ne présentant aucun danger. Le système combiné par MM. Tissandier et expérimenté pour la première fois le 8 octobre 1883 se compose d'un ballon allongé, actionné par une hélice à deux ailes mise en mouvement par une petite machine dynamo-électrique de Siemens alimentée par une pile



NAGELE DE L'ÉROSTAT DIRIGEABLE ÉLECTRIQUE DE M. ALBERT ET GASTON TISSANDIER.

au bichromate de potasse à grand débit. Il suffit en effet de 24 éléments pesant environ 8 kilogrammes chacun pour produire un travail effectif de un cheval-vapeur pendant trois heures. La planche IV représente la disposition adoptée pour l'arrimage

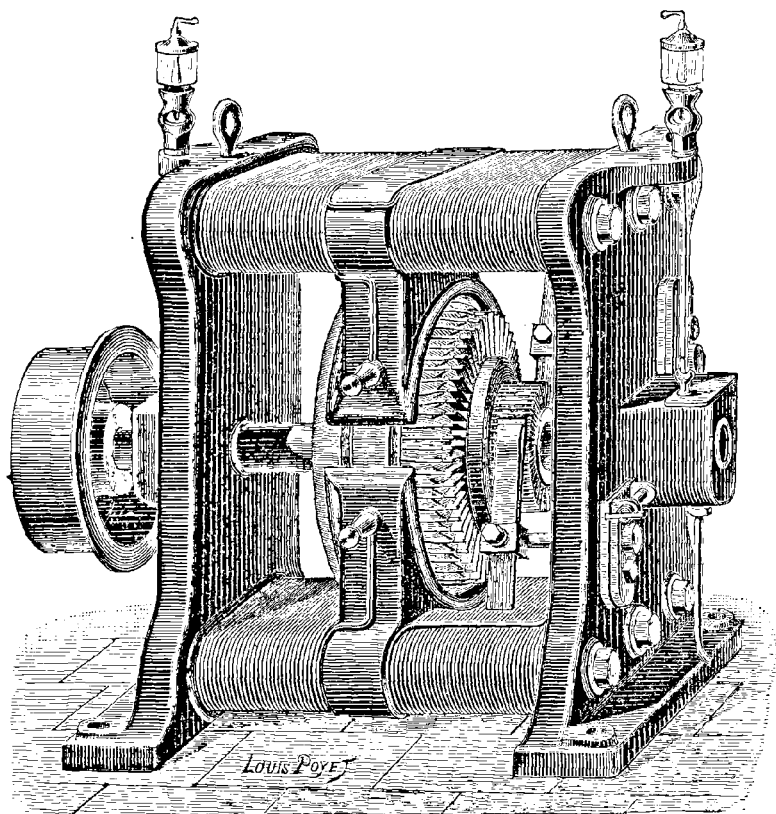


Fig. 139. — Machine Gramme pour transport de force motrice à distance.

des piles, du moteur et de l'hélice du ballon électrique de MM. Tissandier. Nous croyons fermement au succès de ces expériences *dans un air calme et à une vitesse modérée*. La solution de ce problème, même limité aux conditions que nous venons de dire, pourrait rendre assez de services pour qu'on encourage les travaux des deux courageux et sympathiques aéronautes.

Applications diverses. — Nous venons d'examiner rapidement deux applications importantes du transport de la force à distance : le labourage et la traction des chemins de fer dans les villes. L'Exposition nous en a montré plusieurs autres. Nous citerons le percement des roches, soit par percussion, soit par ro-

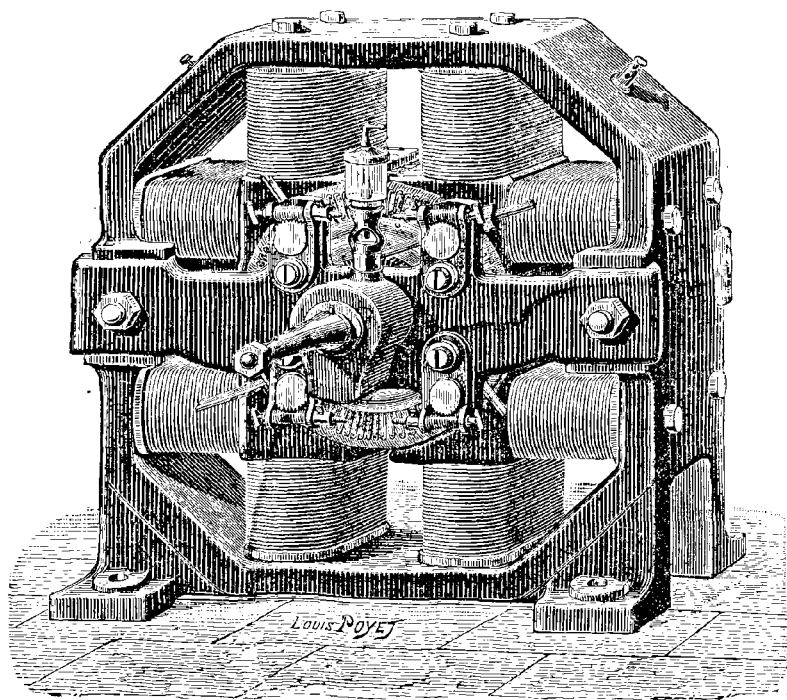


Fig. 140. — Machine Gramme pour transport de force à distance.

tation, le lavage pour l'exploitation des minerais et des carrières, l'élévation des eaux à l'aide de pompes rotatives Greindl et Dumont, les ascenseurs électriques, la manœuvre à distance des ventilateurs, etc., etc. Suivant la puissance à transmettre et la nature des travaux à effectuer, on modifie les formes et les dimensions des machines.

Les figures 139 et 140 représentent deux nouveaux types con-

struits par M. Gramme pour répondre à des besoins divers. Le premier type (fig. 139), qui se prête aussi bien à l'éclairage qu'à la force motrice, est à inducteurs plats. Ses dispositions de détail ont été étudiées pour en faire une machine simple, rustique, facile à manœuvrer, à entretenir ou à remplacer.

Le second type (fig. 140), plus puissant, et qui est celui installé sur le *treuil* à labourage de M. Félix, se compose d'un cadre en fonte très solide servant de bâti et protégeant tous les organes contre les chocs extérieurs et les dislocations intérieures. La machine est à quatre pôles et à quatre balais. Elle pèse 500 kilogrammes et permet de transporter à distance une force utilisable de 5 à 8 chevaux.

En disposant deux ou quatre machines, on peut transporter ainsi quinze ou trente chevaux à quelques kilomètres de distance avec un rendement d'environ 50 p. 100.

La limite imposée au transport de la force motrice à distance par l'électricité se détermine très simplement par le calcul dans chaque cas. Il s'agit, en effet, de déterminer s'il est plus économique d'aller recueillir une force motrice à distance produite à bon marché et de l'amener au point de consommation, ou s'il vaut mieux, au contraire, la produire sur place à l'aide des moteurs connus.

LA DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ.

La variété infinie des applications auxquelles se prête si facilement le courant électrique donne chaque jour une importance plus grande à la question relativement nouvelle dont nous voulons présenter en quelques pages l'état actuel et l'avenir qui lui est réservé.

On sait avec quelle facilité l'énergie électrique produit, suivant les besoins, de la lumière, du travail, des effets chimiques et même de la chaleur, surtout les hautes températures.

S'il était possible de distribuer facilement à chacun cette énergie en quantités quelconques, utilisable à chaque instant et à

volonté, comme on distribue aujourd'hui l'eau et le gaz, on verrait bientôt s'accroître avec une rapidité sans précédent dans l'histoire le nombre de ses applications. Le problème est cependant soluble, il est même résolu pratiquement sur une certaine échelle.

Qu'il nous soit permis de rappeler ici avec quelle incrédulité fut accueillie une conférence faite par l'auteur de ce livre sur *La distribution de l'électricité à domicile*, à la salle Pierre-Petit, le 23 mars 1879, à une époque où bien peu de physiciens croyaient à la réalisation d'idées aussi chimériques en apparence. Ce sera une preuve nouvelle de la marche rapide des progrès de la science électrique.

Dans le cas le plus général, le problème se résume à établir une canalisation ou un *réseau* alimenté par une série de générateurs électriques répartis en différents points de la surface où doit s'effectuer la distribution, et disposé de telle sorte que chacun des récepteurs électriques, lampes électriques, moteurs, sonneries, cuves galvanoplastiques, allumeurs, fourneaux électriques, etc., reçoivent chacun la quantité d'électricité qui lui convient à la pression électrique la plus convenable pour chaque appareil. La mise en service ou l'arrêt d'un nombre indéterminé et variable à chaque instant d'appareils récepteurs ne doit influer en aucune façon sur les éléments de circulation de tous les autres appareils en service.

Ce cas général correspond à celui où tous les appareils alimentés par le réseau fonctionnent avec des pressions électriques E et des intensités I différentes pour chacun d'eux.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de système de distribution résolvant *directement* le problème ainsi posé dans le cas le plus général. Certains artifices que nous indiquerons tout à l'heure permettent cependant d'y arriver.

Le cas le plus simple est celui où tous les appareils sont identiques, c'est-à-dire fonctionnent avec le même volume et sous la même pression. Nous avons vu, à propos de la *division de la lumière*, plusieurs solutions de ce cas simple. Les lampes Brush,

Gramme, Siemens, Weston, Berjot, Edison, Maxim, etc., présentent des solutions partielles sur lesquelles nous n'avons pas à revenir.

Lorsque les dépenses d'énergie sont variables, il faut fournir à chaque appareil une quantité d'énergie électrique égale au produit du volume par la pression, c'est-à-dire égale à EI .

Cette quantité d'énergie électrique doit être variable avec chaque récepteur, mais constante pour chacun d'eux.

Le problème se simplifie en rendant l'un des deux facteurs constant et en faisant varier l'autre suivant les besoins. De là deux grands systèmes généraux de distribution :

1° Les distributions à *pression* constante;

2° Les distributions à volume ou *intensité* constante.

Distribution à intensité constante. — Supposons que, par un procédé quelconque, nous puissions maintenir entre deux points A et B une pression ou différence de potentiel constante. Nous pourrions brancher entre ces deux points un nombre indéterminé de circuits. Chacun d'eux sera traversé par un courant dont l'intensité sera exprimée par la formule de Ohm :

$$I = \frac{E}{R},$$

E étant la différence de pression électrique entre les deux points A et B; R étant la résistance du circuit¹.

Si, pour fixer les idées, nous supposons que la pression entre A et B soit de 100 volts par exemple, en introduisant une lampe à incandescence ($R = 100$ ohms) entre ces deux points, l'intensité du courant qui la traverse sera :

$$I = \frac{100}{100} = 1 \text{ ampère.}$$

Si nous plaçons au contraire une lampe à arc voltaïque dont la

1. Il y a lieu quelquefois de tenir compte de la force contre-électromotrice développée dans le récepteur si c'est un moteur électrique, par exemple. Nous n'en parlons ici que pour mémoire, son introduction dans notre exposé de principe compliquerait l'explication.

résistance totale soit seulement de 4 *ohms*, l'intensité du courant sera :

$$I = \frac{100}{4} = 25 \text{ ampères.}$$

La pression électrique sera la même dans les deux cas, mais la dépense d'énergie de l'arc sera 25 fois plus grande que celle de la lampe à incandescence, parce que l'intensité du courant est 25 fois plus grande. En maintenant la pression constante et en faisant varier convenablement la résistance des récepteurs, on a donc un moyen de faire varier le *débit* de chaque récepteur. Pour une sonnerie électrique, on branchera un électro-aimant à fil excessivement long et résistant, la dépense d'énergie sera alors très faible, et la sonnerie fonctionnera par le courant de la distribution générale.

Ce système suppose donc tous les appareils branchés *en dérivation* entre les deux points A et B maintenus à une différence de potentiel ou de pression électrique *constante*. En pratique, il n'est pas nécessaire de venir établir toutes les dérivations aux deux points A et B.

En combinant les résistances des appareils, et en établissant des conducteurs principaux partant de A et de B de dimensions suffisantes, on peut établir les branchements dérivés en deux points quelconques de ces conducteurs sans affecter trop sensiblement les résultats. Le problème consiste à maintenir cette pression électrique constante entre les points A et B. Les systèmes *Edison* et *Maxim* réalisent en partie ces conditions pour l'éclairage avec la lampe à incandescence.

Passons maintenant aux systèmes proposés pour une distribution *générale*.

Le plus rudimentaire est celui proposé par M. *Gravier* en avril 1880. M. Gravier n'emploie aucun mode de réglage du courant. Il excite une série de machines séparément et les monte toutes en quantité pour diminuer la résistance intérieure. La théorie indique, en effet, que si la résistance intérieure du ou des générateurs était nulle, on pourrait brancher sur ces géné-

rateurs un nombre indéfini de circuits et en modifier le nombre sans changer l'intensité de circulation dans les circuits restants. C'est là un procédé de distribution qui a fonctionné dans de bonnes conditions à l'Exposition d'électricité sur un nombre restreint de circuits, mais non pas une solution générale.

Dans un système complet de distribution que nous avons proposé au mois de septembre 1880, et qui n'a pu encore être réalisé pour des circonstances indépendantes de notre volonté, nous avons prévu et combiné une installation complète d'un véritable réseau de distribution, avec usines multiples et solidaires tendant toutes à maintenir, dans leurs limites de puissance respectives, une différence de pression électrique utile constante. Le réglage porte à la fois sur la vitesse des générateurs électriques, celle des excitatrices, et sur les résistances des circuits d'excitation, ce qui donne au système une grande élasticité dans les cas où il faut donner *un coup de collier*, pour parer par exemple à de grands débits exceptionnels.

Enfin la dernière solution par pression constante est celle proposée par M. Marcel Deprez, il y a deux ans, et réalisée à l'Exposition d'électricité pour distribuer l'énergie à une série de moteurs de différentes puissances. Dans le système fort ingénieux de M. Marcel Deprez, tout le mécanisme de réglage est supprimé; ce réglage s'effectue automatiquement, instantanément, par le fait même de l'introduction de nouvelles dérivations dans le circuit. A cet effet, les machines dynamo-électriques reliées entre elles en dérivation portent des inducteurs roulés avec deux fils distincts. Ce sont des *compound-dynamos*. L'un des fils est placé sur le circuit d'une machine excitatrice spéciale, l'autre est sur le circuit général. La puissance du champ magnétique dans lequel tournent les induits dépend donc à la fois du courant fixe fourni par l'excitatrice et du courant variable du circuit général. L'augmentation de ce courant à chaque dérivation nouvelle introduite dans le circuit augmente la force électromotrice de la quantité nécessaire pour maintenir la pression électrique utile parfaitement constante entre de certaines li-

mites. Cette solution élégante convient très bien dans le cas d'une seule usine de distribution ; reste maintenant à savoir comment le système se comportera dans un réseau de distribution général à usines multiples.

Distribution à pression constante. — Le système à volume constant a été proposé pour la première fois par M. G. Cabanellas en décembre 1880. Dans ce système, tous les récepteurs sont placés les uns à la suite des autres sur le même circuit. Le courant général les traverse tous avec une intensité *constante* ; le rôle du régulateur à l'usine centrale est de faire varier la force électromotrice des générateurs pour maintenir constante cette intensité. On conçoit, en effet, qu'il faudra moins de pression initiale lorsque le circuit sera court et que quelques appareils seulement seront intercalés, que lorsque tous les récepteurs seront en fonction. On conçoit aussi que les modes d'arrêt et de mise en marche d'un récepteur donné seront absolument inverses de ceux des systèmes par dérivation ou par pression constante. Dans l'un, on supprime un appareil du circuit en le rompant ; dans l'autre, au contraire, cette opération se fait en établissant une communication directe entre les deux bornes, c'est-à-dire en plaçant le récepteur *en court circuit*. Le courant passe alors directement dans le fil par le court circuit ainsi établi, sans traverser le récepteur. A l'usine centrale, un mécanisme automatique introduit ou supprime des machines du circuit, suivant les besoins, pour augmenter ou diminuer la force électromotrice initiale, en vertu de laquelle l'intensité générale se maintient constante. M. Cabanellas établit ainsi une série de boucles formant chacune un circuit unique et fermé, allant de maison en maison, d'étage en étage, alimenter les divers appareils de la distribution. Chaque boucle a naturellement son réglage absolument indépendant de celui de toutes les autres.

Avantages et inconvénients des deux systèmes. — Le système à pression constante assure bien mieux l'indépendance des circuits, car les appareils ne sont aucunement solidaires

comme dans le système à intensité constante où ils sont placés les uns à la suite des autres sur le même circuit.

En effet, le moindre accident arrivé aux conducteurs ou à un récepteur dans une boucle donnée, prive de courant tous les récepteurs établis sur cette boucle. C'est là un écueil. Le système par pression constante permet de l'éviter, car chaque dérivation est absolument indépendante des autres. On a d'ailleurs imaginé des systèmes nombreux pour localiser les accidents qui pour-

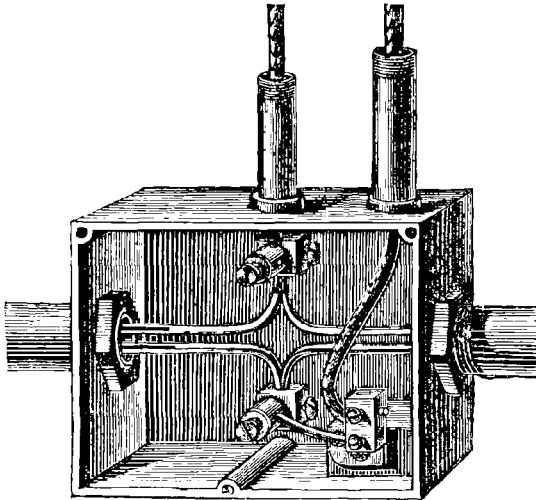


Fig. 141. — Boîte de branchement de conducteurs d'abonnés sur les conducteurs secondaires de distribution (système Edison).

raient se produire. Nous signalerons par exemple les conducteurs avec *boîte de sûreté* d'Edison. A chaque branchement d'abonné établi sur un conducteur primaire ou secondaire se trouve intercalée, dans le circuit, une lame ou un fil de plomb que traverse le courant fourni à l'abonné (fig. 141).

Si les fils établis chez l'abonné venaient à se toucher par accident, le courant tendrait à passer en grande partie par le chemin de courte résistance offert par ce contact, produirait une fusion, une détérioration des fils, peut-être un incendie, et en tout cas une perturbation dans la distribution. Grâce au petit

conducteur en plomb interposé, dès que l'intensité du courant dépasse une certaine valeur, qui dépend de la grosseur des conducteurs qu'il s'agit de protéger, le fil de plomb fond sous l'action du courant et coupe automatiquement le circuit. L'abonné se trouve ainsi privé de courant, mais il n'en prive pas les autres, c'est là le point essentiel.

Le système à dérivation impose l'emploi de conducteurs relativement gros, surtout aux points de départ des usines.

Les grosseurs de ces conducteurs devront être combinées, dès l'origine, d'après le nombre *probable* des dérivations à établir pour ne pas être obligé de remanier la canalisation pour la proportionner à de nouveaux débits. Mais on pourra fonctionner avec des forces électromotrices relativement faibles et par suite moins dangereuses, demandant une isolation des conducteurs moins parfaite que dans le système à intensité constante, avec lequel les conducteurs, chargés à un potentiel élevé, constitueront une source permanente de dangers.

Pour toutes ces raisons et d'autres qu'il serait trop long de développer ici, le système à intensité constante ne nous paraît pas répondre suffisamment aux besoins si divers d'une distribution d'électricité pour passer dans la pratique : l'avenir nous paraît réservé aux systèmes par pression constante.

Nous ne signalons que pour mémoire le conducteur condensateur de M. *Parod* et le transport de l'électricité à domicile par des voitures dans des accumulateurs, système proposé par M. *Phillipart*. Au prix où sont les transports dans les grandes villes, on peut juger à l'avance de l'avenir réservé à ce dernier mode d'exploitation de la distribution de l'électricité.

Transformateurs électriques. — Que l'on adopte le système par pression constante ou par volume constant, tous les appareils ne s'accommodent pas indifféremment de ce facteur constant imposé par les conditions mêmes de la distribution. Ainsi, par exemple, si l'on établit une distribution par pression constante, avec une chute utile de deux cents volts, cette chute initiale sera beaucoup trop grande pour alimenter un régulateur

à arc voltaïque de moyenne puissance, elle sera aussi trop grande pour les dépôts électro-chimiques. Le courant fourni étant continu ne conviendra pas non plus pour alimenter des bougies Jablochhoff qui ne peuvent fonctionner qu'avec des courants alternatifs.

Tous les appareils qui permettent de changer les qualités ou la nature des courants fournis par une distribution pour les approprier aux exigences des récepteurs qu'ils doivent actionner sont des *transformateurs*.

Grâce aux *transformateurs*, quel que soit le mode de distribution adopté et les éléments de la distribution, il sera toujours possible d'alimenter un appareil récepteur *quelconque*, à la condition de fournir au transformateur une quantité d'énergie électrique supérieure à celle qui sera consommée par le récepteur.

L'accumulateur de M. Planté, la bobine de Ruhmkorff sont des transformateurs. Ce sont aussi des transformateurs que MM. Gaulard et Gibbs emploient en ce moment à Londres, sous le nom fort impropre d'ailleurs de *générateurs secondaires*.

Compteurs d'électricité. — Il est important de compter l'énergie électrique fournie à chaque consommateur, la seule qui soit réellement due. Dans le système à pression constante, il suffit de connaître la *quantité* d'électricité qui a traversé le circuit de chaque abonné. Cela est très facile en intercalant un voltamètre à sulfate de cuivre en dérivation sur deux points très rapprochés du conducteur. Il ne passe dans le voltamètre qu'une partie très faible du courant général. On peut d'ailleurs, par des résistances convenablement distribuées, graduer ce rapport. En pesant le cuivre déposé sur une lame aux dépens de l'autre pendant un temps déterminé, un mois par exemple, on a tous les éléments pour déterminer la quantité d'énergie fournie à l'abonné et, par suite, pour le taxer d'une manière analogue à celle du gaz.

C'est le principe des appareils de *Sprague* et d'*Edison*. Ce dernier a construit un second compteur plus compliqué, mais

qui dispense de la pesée des plaques, et plus récemment, il a fait breveter un troisième système à moteur électrique et compteur totalisateur à engrenages. La vitesse de rotation étant proportionnée à l'intensité du courant, on a encore un moyen de mesurer la quantité d'électricité fournie à l'abonné.

Un compteur d'électricité purement mécanique vient aussi d'être récemment inventé par M. *Cauderay* de Lausanne. On voit donc que tous les problèmes particuliers que soulève la question de la distribution de l'électricité sont déjà individuellement résolus.

Nous avons dû passer rapidement sur une foule de problèmes intéressants que soulèvent la distribution de l'électricité à domicile et son application à tous les usages. L'énumération seule de ses applications remplirait plusieurs pages. Nous avons voulu seulement montrer que la question est mûre, et qu'aucun point ne soulève de difficultés insurmontables.

Dans quelques années, l'électricité aura pénétré dans nos habitations, apportant à chacun de nouveaux et innombrables éléments de bien-être, en rapport avec les besoins toujours croissants de la civilisation moderne. Le dix-neuvième siècle ne se terminera pas sans voir le développement complet des applications de l'électricité et sa distribution à domicile : nos petits-enfants, en témoignage de reconnaissance à l'égard des progrès d'une science née avec le siècle, pourront alors le nommer à juste titre : LE SIÈCLE DE LA VAPEUR ET DE L'ÉLECTRICITÉ.

TABLE DES MATIÈRES

I^{re} PARTIE. — Le courant électrique et sa mesure. —	
Les sources d'électricité.....	1
CHAP. I. Les piles électriques.....	13
CHAP. II. Les accumulateurs.....	44
CHAP. III. Les piles thermo-électriques.....	56
CHAP. IV. Les générateurs mécaniques d'électricité. Machines magnéto et dynamo-électriques.....	68
II^e PARTIE. — L'éclairage électrique.....	
CHAP. I. Les régulateurs.....	126
CHAP. II. Les bougies électriques.....	159
CHAP. III. L'éclairage par incandescence.....	172
CHAP. IV. Les applications de l'éclairage électrique.....	190
III^e PARTIE. — Téléphones, microphones, radiophones et photophones.....	
CHAP. I. Téléphones musicaux.....	214
CHAP. II. Téléphones d'articulation.....	219
CHAP. III. Téléphones spéciaux.....	251
CHAP. IV. Les applications du téléphone.....	270
IV^e PARTIE. — La mécanique électrique.....	
Les moteurs électriques.....	295
La transmission de la force à distance.....	296
La locomotion électrique.....	303
La distribution de l'électricité.....	307